





COSMOS


IMPRIMERIE J. CLAYE
RUE SAINT BENOIT 7
PARIS

ŒUVRES D'ALEXANDRE DE HUMBOLDT

COSMOS

ESSAI D'UNE

DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE

PAR

ALEXANDRE DE HUMBOLDT

TRADUCTION

DE M. H. FAYE

Membre de l'Institut, l'un des astronomes de l'Observatoire de Paris

ET DE M. CH. GALUSKI

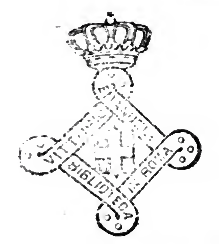
Désignés par l'auteur pour faire cette traduction

QUATRIÈME ÉDITION

MISE DANS UN MEILLEUR ORDRE QUE LES PRÉCÉDENTES

ET AUGMENTÉE D'UNE NOTICE BIOGRAPHIQUE SUR HUMBOLDT

AVEC DES FRAGMENTS INÉDITS DE LA CORRESPONDANCE DE L'AUTEUR



« Naturæ vero rerum vis atque majestas in omnibus momentis fide caret, si quis modo partes ejus ac non totam complectat animo. »
PLINE, lib. VII, c. 1.

TOME QUATRIÈME

ÉDITÉ PAR L. GUÉRIN ET Cie

DÉPOT ET VENTE A LA

LIBRAIRIE THÉODORE MORGAND, 5, RUE BONAPARTE

1866-1867

AVERTISSEMENT DE M. CH. GALUSKI

PUBLIÉ EN 1859

POUR LE TOME QUATRIÈME.



En offrant au public français la quatrième partie du *Cosmos*, je dois m'excuser peut-être de m'être chargé de le traduire, et à coup sûr de l'avoir fait attendre si longtemps. Ce retard, dû surtout à la difficulté du travail, eût été plus long encore, si je n'avais trouvé auprès d'hommes dévoués à la science et à M. de Humboldt les secours dont j'avais besoin. Je suis particulièrement l'obligé de M. Charles Sainte-Claire Deville, dont le nom et les travaux sont si fréquemment cités dans ce volume ; de

M. J.-A. Barral, qui ne sépare pas, dans sa pensée et dans son dévouement, le nom d'Humboldt de celui d'Arago; enfin de M. Amédée Tardieu, de la bibliothèque de l'Institut, qui, à force de savoir et d'obligeance, est parvenu à remplacer M. A. Maury.

INTRODUCTION DE L'AUTEUR

POUR LE TOME QUATRIÈME.

Dans un ouvrage qui embrasse beaucoup de choses, que l'on tient à rendre d'une intelligence facile, où rien ne doit troubler l'impression de l'ensemble, on peut presque dire que le travail de la composition, la division et la subordination des parties, importent plus encore que la richesse des matériaux. Un tel besoin se fait d'autant plus sentir pour le *Cosmos*, c'est-à-dire pour le Livre de la Nature, que les vues générales, soit que l'on considère objectivement les phénomènes extérieurs, soit que l'on cherche le reflet de la nature dans l'imagination et dans les sentiments de l'homme, doivent être soigneusement mises à part des résultats particuliers. Ces vues générales, dont l'objet n'est rien moins que l'ensemble de la nature, sont esquissées dans les deux premiers volumes du *Cosmos*, où l'on voit en même temps comment, durant le cours des siècles, sous les zones les plus différentes, l'humanité s'est efforcée peu à peu de reconnaître le concours des forces qui animent l'univers. Bien que, pour faire saisir l'enchaînement des causes et des effets, il ait été dès lors nécessaire

de citer un nombre considérable de phénomènes, il n'est pas moins vrai de dire qu'un tableau général de la Nature serait sans fraîcheur et sans vie, s'il n'était renfermé dans d'étroites limites, et si les faits accumulés rendaient impossible de l'embrasser d'un coup d'œil.

De même que, dans les Atlas de cartes géographiques, les cartes spéciales de tel ou tel pays viennent après les cartes représentant toute la surface du globe ou la structure intérieure de l'écorce terrestre, rien ne m'a paru plus approprié à une description physique du monde, et plus de nature à en faciliter l'intelligence, que de placer à la suite des hautes généralités sur l'ensemble de cé même monde les faits particuliers dont la connaissance constitue l'état actuel de la science. Les deux derniers volumes du *Cosmos* doivent donc être considérés, ainsi que je l'ai dit déjà (1), comme une répétition plus développée et plus achevée du Tableau général de la Nature (2). Des deux sphères dont le monde est formé, la sphère céleste a seule fourni la matière du troisième volume; la sphère terrestre est réservée pour le quatrième. Ainsi est maintenue l'antique division de l'univers créé en Ciel et Terre, division si simple, si naturelle, qu'elle se retrouve chez tous les peuples, dans les premiers monuments où se manifeste l'éveil de la conscience humaine.

Passer de l'immensité du firmament, où brillent d'innombrables soleils, soit isolés, soit unis entre eux par le lien d'une gravitation réciproque, et de loin-

taines nébulosités, à notre système planétaire, c'est descendre de l'universel au particulier et à un ordre d'idées relativement petit. Combien le champ de l'observation ne se rétrécit-il pas encore, lorsque, de l'ensemble de ce système et des différents corps qui le composent, on passe au sphéroïde terrestre, c'est-à-dire à une seule d'entre les planètes qui accomplissent leur révolution autour du Soleil! En évaluant la parallaxe de l'étoile la plus proche, α du Centaure, à 0″,9187, on trouve que la distance de cette étoile est 263 fois plus grande que le diamètre de notre système solaire, mesuré jusqu'à l'aphélie de la comète de 1680, et ce point est lui-même à une distance 853 fois plus grande que celle de la Terre au Soleil (3). Ces nombres nous donnent la distance qui sépare une des régions du firmament les plus voisines et ce que l'on croit être la limite extrême du système solaire, ainsi que la distance de cette limite au lieu de la Terre.

L'uranologie, qui s'applique à tout ce qui remplit les espaces les plus reculés de la création, conserve toujours son antique privilége de transporter l'imagination de l'homme et de lui imprimer l'idée la plus saisissante du sublime, grâce à l'impossibilité d'embrasser les rapports d'espace et de nombre qu'elle nous fournit, à l'ordonnance et à la régularité qui président au mouvement des corps célestes, grâce aussi à l'admiration qu'excitent en nous les résultats de l'observation astronomique et les efforts de l'esprit humain. Ce sentiment de régularité et de périodicité s'est imposé à l'homme de si bonne heure que

souvent il se reflète dans les formes de langage qui ont trait au cours harmonieux des astres. Mais, ce qui peut-être donne aux lois dont on a constaté l'existence dans la sphère céleste le caractère le plus merveilleux, c'est leur simplicité : elles ne s'appliquent, en effet, qu'aux dimensions des astres, à la distribution de la matière pondérable dont ils sont formés et à leur force attractive. Cette impression de grandeur matérielle dont nous frappe un objet incommensurable se transforme, en vertu du lien mystérieux qui unit le monde surnaturel au monde sensible, et nous fait passer, presque à notre insu, dans une sphère d'idées plus hautes. Il y a dans l'image de l'infini, de tout ce qui est sans mesure et sans limite, une force qui excite en nous une disposition grave et solennelle, quelque chose d'analogue à l'émotion que font toujours naître la grandeur intellectuelle et l'élévation morale.

L'effet que produit simultanément, sur des populations entières, la vue de phénomènes célestes inaccoutumés, montre bien la force de ces associations de sentiments. Ce que peuvent éprouver les imaginations vives, au seul aspect de la voûte étoilée, est augmenté par la science et par l'usage des instruments que l'homme a découverts pour accroître sa force visuelle et élargir son horizon. A l'impression que cause l'immensité du ciel se joint aussi celle de la paix qui semble y régner. L'idée de la paix se lie naturellement avec les idées de régularité et d'harmonie; elle enlève aux profondeurs de l'espace et du

temps cette sorte d'horreur que leur prête l'imagination. Sous toutes les zones, l'homme se sent naïvement ému, en contemplant le repos d'une nuit d'été éclairée par les étoiles.

Si les impressions de masse et d'étendue appartiennent surtout à la partie sidérale de la description du monde, si le seul organe de l'œil nous suffit pour prendre connaissance de la sphère céleste, la partie terrestre a, en revanche, cet avantage décisif d'offrir dans les divers éléments dont elle est formée une variété susceptible de divisions scientifiques. Nous sommes en contact avec la nature terrestre par tous les sens. L'astronomie, il est vrai, plus accessible qu'aucune autre science aux combinaisons mathématiques, en tant qu'elle est la connaissance des corps lumineux en mouvement, a fait briller la haute analyse d'un nouvel éclat, et agrandi d'une manière surprenante le vaste domaine de l'optique; mais la sphère terrestre, grâce à la variété des substances qui la composent et à la complication des forces que ces substances mettent en jeu, a fondé à elle seule la chimie et toutes les branches de la physique qui traitent de phénomènes considérés jusqu'à ce jour comme étrangers aux ondulations de la lumière et de la chaleur. Ainsi, chaque sphère, par la nature des problèmes qu'elle propose à notre curiosité, exerce une influence différente sur le travail de l'intelligence et sur l'accroissement du trésor scientifique de l'humanité.

Tous les corps célestes, à l'exception de notre

planète et des aérolithes qu'elle attire, ne sont, autant que nous permettent d'en juger les bornes de la science humaine, qu'une matière homogène, gouvernée par les lois de la gravitation, sans aucune différence spécifique ou élémentaire de substance. Mais cette manière si simple de les représenter n'est pas prise dans la nature intérieure et dans la constitution de ces corps; elle est uniquement fondée sur la simplicité des conditions qui suffisent pour éclaircir et déterminer à l'avance leurs mouvements dans l'espace. Ainsi que j'ai eu plusieurs fois déjà l'occasion de le rappeler (4), on a été amené à ce point de vue par l'impossibilité de percevoir l'hétérogénéité de la matière. C'est ainsi que l'on a résolu le grand problème d'une mécanique céleste, subordonnant tous les changements qui s'accomplissent dans la sphère sidérale à la seule loi de la théorie du mouvement.

Les changements périodiques des taches lumineuses que l'on observe à la surface de Mars indiquent, à la vérité, que la succession des saisons amène divers phénomènes météorologiques dans l'atmosphère de cette planète, et qu'il existe aux pôles des dépôts produits par le froid (5). L'analogie et la liaison des idées nous permettent d'en conclure la présence de la glace ou de la neige, et par conséquent de l'oxygène et de l'hydrogène, de même que les masses éruptives de la Lune ou ses vallées circulaires autorisent à admettre la diversité des roches; mais l'observation immédiate ne nous fournit rien sur ce sujet. Newton ne se permettait pas autre

chose que des conjectures touchant la constitution élémentaire des planètes qui appartiennent à un même système solaire; nous le voyons par un entretien qu'il eut à Kensington avec Conduit (6). L'image uniforme d'une matière homogène obéissant aux lois de la gravitation et condensée en corps célestes occupe diversement l'imagination rêveuse de l'homme; c'est le mythe qui prête aux déserts silencieux des espaces célestes l'attrait puissant de l'harmonie (7).

Témoin de la richesse infinie de substances chimiquement différentes et de la variété des phénomènes par lesquels leurs forces se manifestent, placé au milieu de toutes les formes que crée l'activité de la nature organique et d'un grand nombre de substances inorganiques, parmi les transformations constantes qui offrent alternativement l'apparence de l'anéantissement et de la reproduction, l'esprit organisateur s'efforce, tout en désespérant quelquefois de sa tâche, de ramener le mouvement à des lois simples. On lit déjà dans la *Physique* d'Aristote (8) : « Les principes fondamentaux de la nature entière sont le changement et le mouvement. Celui qui n'a pas reconnu ces principes ne connaît pas la nature. » Ailleurs (9) Aristote, à propos de l'hétérogénéité de la matière ou, suivant ses expressions, de la différence d'essence, appelle ἀλλοίωσις, c'est-à-dire transformation, le mouvement considéré comme rentrant dans la catégorie de la qualité, et distingue cette transformation du simple mélange, μίξις, et de la pénétration, qui n'exclut pas la séparation.

L'ascension inégale des liquides dans les tubes capillaires; l'endosmose si active dans toutes les cellules organiques, et qui est vraisemblablement une conséquence de la capillarité; la condensation des gaz dans les corps poreux, comme, par exemple, de l'oxygène dans de la mousse de platine, avec une pression supérieure à celle de 700 atmosphères, et de l'acide carbonique dans les pores du charbon de buis, où plus d'un tiers du gaz se condense en gouttes sur les parois des cellules; l'effet chimique des substances de contact qui, par leur présence déterminante ou leur force catalytique, détruisent ou font naître des combinaisons, sans participer elles-mêmes au résultat qu'elles produisent, tous ces phénomènes montrent que, à des distances infiniment petites, les substances exercent les unes sur les autres une attraction dépendant de leur nature spécifique. On ne saurait expliquer de telles attractions sans admettre des mouvements qui échappent à nos regards.

Quel rapport existe entre l'attraction réciproque des molécules, considérée comme une cause de mouvement perpétuel à la surface et très-vraisemblablement à l'intérieur de la Terre, et la gravitation qui met aussi en mouvement perpétuel les planètes et leurs soleils? La solution même partielle de ce problème purement physique serait la conquête la plus glorieuse à laquelle puissent prétendre, dans un tel ordre de faits, les efforts réunis de l'expérimentation et de la réflexion. Dans le rapprochement que j'indiquais plus haut, je me suis fait scrupule de

désigner uniquement sous le nom d'attraction newtonienne l'attraction qui règne dans les espaces célestes, et agit en raison inverse du carré des distances. Cette dénomination exclusive me paraîtrait une injustice envers la mémoire du grand homme qui, sans les distinguer nettement l'une de l'autre, avait cependant reconnu l'existence de ces deux forces, et qui, pressentant les découvertes à venir, tentait, dans ses additions à l'*Optique*, de rapporter la capillarité et ce que l'on connaissait alors de l'affinité chimique à la gravitation universelle (10).

De même que dans le monde des sens, surtout à l'horizon de la mer, des images décevantes trompent longtemps l'attente du navigateur qui se croit au moment d'entrer en possession d'une terre inconnue, de même, à cet horizon idéal qui borne les régions les plus lointaines du monde de la pensée, l'investigateur de la nature sent naître et s'évanouir bien des espérances mensongères. Il faut avouer cependant que les découvertes de ces derniers temps sont faites pour exalter la confiance. Je citerai l'électricité de contact; le magnétisme de rotation, obtenu par des fluides liquéfiés ou congelés; l'heureuse idée de considérer toute affinité chimique comme la conséquence des relations électriques des atomes avec une force polaire prédominante; la théorie des substances isomorphiques appliquée à la formation des cristaux; les phénomènes produits par l'état électrique des fibres musculaires animées; enfin l'influence constatée de la position du Soleil, c'est-à-dire du rayonnement

solaire qui élève la température, sur le plus ou moins de sensibilité et d'expansion magnétiques de l'un des éléments qui entrent dans la composition de l'atmosphère, de l'oxygène. Lorsque l'on voit poindre dans le monde physique quelque phénomène nouveau, inconnu jusque-là, on peut se croire d'autant plus près de découvertes nouvelles que les relations de ce phénomène avec les faits déjà connus sont confuses ou même contradictoires.

J'ai choisi surtout les exemples où des effets dynamiques de forces attractives semblent ouvrir la voie dans laquelle on peut espérer approcher de la solution de ces deux problèmes : constater l'hétérogénéité originaire, invariable, et par conséquent élémentaire, des substances, telles que l'oxygène, l'hydrogène, le soufre, le potassium, le phosphore, l'étain, et mesurer les efforts que font ces corps pour se réunir, c'est-à-dire leur affinité chimique. Mais, je le répète, tout ce que nous savons de la matière repose sur des différences de forme et de mélange. Ce sont les abstractions sous lesquelles nous croyons embrasser le mouvement universel de la création par des mesures et des analyses. La détonation des fulminates sous une légère pression mécanique, l'explosion accompagnée de feu et plus effrayante encore du chlorure d'azote, contrastent avec l'union du chlore et de l'hydrogène, qui détone dès que vient à tomber un rayon direct du Soleil, particulièrement un rayon violet. La transformation de la matière, la composition et la décomposition tracent le cercle où s'agitent

éternellement les éléments, dans la nature inorganique, comme dans les cellules animées des animaux et des plantes. Cela n'empêche pas que la quantité de matière existante demeure toujours la même : les éléments ne font que changer de place.

Ainsi se trouve confirmé le vieux principe d'Anaxagore, que ce qui existe dans l'univers n'augmente ni ne diminue; que ce que les Grecs appellent anéantissement n'est que la cessation de combinaisons antérieures. Sans doute la sphère terrestre, siége du monde organique, le seul accessible à notre observation, semble être un atelier de mort et de dissolution, mais le grand phénomène de la combustion lente que nous nommons dissolution n'entraîne point l'anéantissement. Les substances rendues à elles-mêmes se réunissent à d'autres substances, et, grâce aux forces dont elles sont animées, une nouvelle vie germe et s'élance du sein de la Terre.

RÉSULTATS PARTICULIERS

DE L'OBSERVATION DANS LE DOMAINE

DES PHÉNOMÈNES TERRESTRES

Si l'on veut, dans un ouvrage où l'on dispose d'un matériel immense formé des objets les plus divers, dominer ces matériaux, c'est-à-dire ordonner les phénomènes de telle manière que l'on en puisse facilement saisir la liaison, le seul moyen de rendre l'exposition lumineuse, c'est de subordonner les notions spéciales, particulièrement dans le champ si longtemps sillonné de l'observation, au point de vue plus élevé de l'unité du monde. La sphère terrestre, opposée à la sphère céleste, se divise en deux parties : la nature inorganique et la nature organique. La première comprend la grandeur, la forme et la densité de la Terre ; sa chaleur interne, son activité électro-magnétique, la constitution minéralogique de son écorce, la réaction de l'intérieur contre la surface, qui se produit dynamiquement par voie d'ébranlement, chimiquement par les phénomènes qui forment et transforment les roches, l'envahis-

sement partiel de la surface solide par l'élément liquide ou la mer; le contour et les articulations de la partie solide qui s'élève au-dessus des flots, c'est-à-dire des continents et des îles; enfin l'enveloppe gazeuse qui recouvre le globe de toute part, en d'autres termes, l'atmosphère. Le domaine de la nature organique comprend non pas les formes particulières de la vie, dont la description est proprement l'objet de l'Histoire Naturelle, mais bien les relations de localité qui existent entre les êtres et les parties solides ou liquides de la surface terrestre, c'est-à-dire la Géographie des plantes et des animaux, et les gradations de l'espèce humaine en races et en tribus, malgré son unité spécifique.

Cette division appartient dans une certaine mesure à l'antiquité. On distinguait dès lors les deux ordres de faits : d'une part, les phénomènes élémentaires et la transformation des substances; de l'autre, la vie des plantes et des animaux. A défaut de moyens pour augmenter la force visuelle qui manquaient presque absolument (11), la distinction entre les végétaux et les animaux était purement intuitive ou reposait uniquement sur le pouvoir qu'ont les animaux de se nourrir eux-mêmes et sur le ressort intérieur qui leur permet de se mouvoir (12). L'espèce de conception intellectuelle que j'appelle intuition, et plus encore l'association des idées, si pénétrante et si féconde chez Aristote, lui révélèrent le passage apparent de l'animé à l'inanimé, de la substance élémentaire à la plante, et l'ame-

nèrent à cette vue que, la vie tendant toujours à s'élever dans l'échelle des êtres, il existe des gradations insensibles des plantes aux animaux inférieurs (13). L'histoire des organismes, en prenant le mot d'histoire dans son sens originaire, c'est-à-dire en nous reportant à l'époque des Faunes et des Flores antiques, est si intimement liée avec la Géologie, avec la superposition des couches terrestres et l'âge des soulèvements, soit des pays entiers, soit simplement des montagnes, que je n'ai pas cru devoir, dans un ouvrage tel que le *Cosmos*, prendre pour point de départ la division, d'ailleurs très-naturelle, de la nature organique et de la nature inorganique, et en faire l'élément principal de ma classification. La grande division que j'ai suivie m'a paru plus appropriée au but que je me propose, en ce qu'elle représente mieux l'enchaînement de vastes phénomènes, occupant une place considérable dans l'Univers. Je ne puis, en effet, me tenir ici à un point de vue morphologique. Ce dont il s'agit surtout, c'est de tracer un tableau général de la Nature, qui permette d'embrasser l'ensemble de toutes les forces qui concourent à l'animer.

PREMIÈRE PARTIE

GRANDEUR ET FORME DE LA TERRE.

APERÇU GÉNÉRAL.

Ce que toutes les langues, bien que se servant de formes symboliques différentes, désignent par le mot de Nature, on peut même dire ce que toutes les langues désignent par les mots de Nature terrestre, attendu que l'homme rapporte tout volontiers au séjour qu'il habite, est le résultat d'un système de forces agissant avec calme et ensemble, dont nous ne connaissons l'existence que par les corps qu'elles mettent en mouvement, qu'elles composent ou décomposent, et dont elles forment une partie des organismes vivants, destinés à se reproduire de la même manière. Le sentiment de la nature est l'émotion confuse, mais généreuse et féconde, que l'action de ces forces produit sur l'âme de l'homme. Le premier objet qui captive notre curiosité, ce sont les dimensions de notre planète, petit amas de matière conden-

sée, perdu dans l'immensité du monde. Un système de forces agissant de concert pour unir ou pour séparer, par l'effet de l'activité polaire, suppose la dépendance réciproque de chacune des parties dont se compose la nature, soit dans les phénomènes élémentaires de la formation inorganique, soit dans la production et dans la conservation de la vie. D'un côté la grandeur et la forme du sphéroïde terrestre, de l'autre sa masse, c'est-à-dire la quantité de parties matérielles dont il est formé, et qui, comparée au volume, donne la mesure de sa densité et révèle, sous certaines réserves, sa constitution intérieure et le degré d'attraction qu'il exerce, sont entre elles dans une subordination plus manifeste et plus facile à calculer mathématiquement, que la subordination constatée jusqu'ici entre les phénomènes vitaux, les courants de calorique, les états terrestres de l'électro-magnétisme et les transformations chimiques. Des rapports que la complication des phénomènes n'a pas permis encore de formuler peuvent être réels néanmoins, et devenir vraisemblables par induction.

Si, dans l'état actuel de nos connaissances, on n'est pas encore en mesure de réduire à une seule et même loi les deux espèces de forces attractives : celle qui agit à des distances appréciables, comme la pesanteur et la gravitation, et celle qui n'agit qu'à des distances incommensurables par leur petitesse, comme l'attraction moléculaire ou attraction de contact, il est à croire cependant que la capillarité

et l'endosmose, si importante pour l'ascension de la sève et pour la physiologie des animaux et des plantes, ne sont pas moins subordonnées à la pesanteur et à sa distribution locale que les phénomènes électro-magnétiques et les transformations chimiques. Il faut bien reconnaître que si notre planète, pour mettre les choses à l'extrême, n'avait pas une masse supérieure à celle de la Lune, ce qui revient à dire que l'intensité de la pesanteur serait six fois moindre qu'elle n'est réellement, les phénomènes météorologiques, le climat, les rapports hypsométriques des chaînes de montagnes produites par voie de soulèvement, la physionomie de la végétation, tout serait absolument changé. La grandeur absolue de la Terre n'a d'importance pour l'économie générale de la Nature qu'en raison des rapports du volume à la masse et à la rotation : car, si les dimensions des planètes, leurs masses, leurs vitesses et leurs distances réciproques, augmentaient ou diminuaient suivant une même proportion, nous aurions un monde plus grand ou plus petit, que l'imagination peut se représenter, et dans lequel les phénomènes dépendant de la gravitation ne subiraient aucun changement (14).

GRANDEUR, FIGURE ET DENSITÉ DE LA TERRE.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 184-193 et 490-497, notes 26-37.)

Le corps de la Terre a été mesuré et pesé, au moyen de sa figure, de sa densité et de sa masse. La précision que l'on s'est toujours efforcé d'atteindre dans ces déterminations terrestres n'a pas moins contribué que la solution des problèmes astronomiques au perfectionnement des instruments de mesure et des méthodes analytiques. Une partie essentielle de la mesure du degré est d'ailleurs elle-même un travail astronomique. Les hauteurs des étoiles forment l'arc de cercle dont la longueur est fournie par la résolution d'un réseau trigonométrique. Les hautes mathématiques ont eu l'heureuse fortune de vaincre toutes les difficultés et de déterminer, à l'aide de données numériques préexistantes, la forme de la Terre et la figure qu'a prise, en s'équilibrant, la masse liquide et homogène, ou solide et formée de couches hétérogènes, qui la compose. Après Newton et Huygens, les plus célèbres géomètres du XVIII[e] siècle ont cherché à l'envi la solution de ce problème. On ne saurait jamais trop rappeler que toutes les grandes

découvertes qui sont le fruit de combinaisons mathématiques, mises en œuvre par un puissant effort de l'intelligence, tirent leur valeur non pas seulement du résultat acquis à la science, mais surtout des ressources que ces découvertes peuvent fournir, pour perfectionner et fortifier l'instrument analytique.

La figure géométrique de la Terre, en opposition avec sa figure physique, est déterminée par la surface de l'eau qui la sillonnerait et la recouvrirait en entier, si l'on suppose un immense système de canaux en communication avec l'Océan (15). La surface géométrique coupe perpendiculairement les directions des forces résultant de toutes les attractions qui partent de chaque point de la Terre et se combinent avec la force centrifuge, qui est dans un rapport déterminé avec la vitesse de la rotation. L'ensemble du corps terrestre ne peut être considéré que comme se rapprochant beaucoup d'un ellipsoïde de révolution (16) : car les irrégularités que présente la distribution de la masse à l'intérieur de la Terre, en apportant des changements locaux à la densité, produisent aussi de l'irrégularité dans la surface géométrique, qui est déterminée par l'action commune d'éléments inégalement répartis. La surface physique de la Terre n'est autre que la surface de l'élément solide et de l'élément liquide, tels qu'ils existent réellement à la limite de l'écorce terrestre. En vertu de principes géologiques, il est vraisemblable que les changements accidentels qui s'opèrent à l'intérieur

de la Terre par le déplacement des masses en fusion, masses faciles à mouvoir malgré la pression qu'elles supportent, modifient, après de longs espaces de temps, la surface géométrique elle-même, en faisant fléchir, sur des espaces peu étendus, les méridiens et les parallèles; de son côté, la surface physique est directement soumise, dans la région océanique, à un déplacement régulier des masses, produit par le mouvement périodique du flux et du reflux. La faiblesse des effets de la gravitation, dans les masses continentales, peut dérober à l'observation réelle un changement qui suit une progression fort lente. D'après les calculs de Bessel, une augmentation d'une seconde seulement dans la hauteur polaire d'un lieu suppose, à l'intérieur de la Terre, le déplacement d'une masse égale en poids à 114 milles géographiques cubiques, la densité de cette masse étant supposée la même que la densité moyenne de la Terre (17). Quelque surprenant que paraisse d'abord le volume de cette masse déplacée, si on le compare à celui du Mont-Blanc, ou du Chimborazo, ou du Kintschindjinga, la surprise tombe bientôt, lorsqu'on se rappelle que le sphéroïde terrestre renferme plus de 2650 millions de ces milles cubiques.

Le problème de la figure de la Terre, dont on avait déjà reconnu le rapport avec la question géologique à laquelle a donné lieu l'ancien état liquide des corps planétaires, dans la grande époque de Newton, de Huygens et de Hooke (18), a été traité de trois manières

différentes et avec un succès inégal : par les mesures de degré, opération à la fois géodésique et astronomique ; par les expériences du pendule et par les inégalités lunaires ou perturbations du mouvement de la Lune en longitude et en latitude. La première de ces méthodes se divise en deux procédés distincts : la mesure de la latitude sur un arc de méridien et la mesure de la longitude sur différents parallèles.

Sept ans déjà se sont écoulés depuis que j'ai fait entrer dans le Tableau général de la Nature le grand travail de Bessel sur les dimensions du corps terrestre ; et jusqu'ici ce travail n'a point été remplacé par un autre plus complet, reposant sur de nouvelles mesures de degré. Il faut s'attendre cependant qu'il sera perfectionné et recevra d'importantes additions, lorsque sera rendue publique la mesure du degré qui doit bientôt s'achever en Russie, et comprend presque tout l'espace du cap Nord à la mer Noire. Les conséquences de l'opération accomplie aux Indes seront aussi mieux garanties lorsqu'une comparaison attentive aura fait savoir exactement de quelle mesure on s'est servi dans cette contrée. D'après les déterminations que Bessel a publiées en 1841, voici les dimensions moyennes de notre planète, obtenues par une combinaison faite avec soin de dix mesures de degré (19) : le demi grand axe de l'ellipsoïde de révolution, dont se rapproche le plus la figure irrégulière de la Terre, est de 3 272 077^t,14 (6 377 398^m,1) ; le demi petit axe de 3 261 139^t,33 (6 356 079^m,9) ; la longueur du quart de cercle ter-

restre est de 5131179t,81 (1000857m,2); la longueur du degré moyen d'un méridien de 57013t,109 (111120m,64); la longueur d'un degré parallèle par 0° de latitude, c'est-à-dire d'un degré équatorial, de 57108t,520 (111306m,59); la longueur d'un degré parallèle par 45° de latitude de 40449t,371 (78838m,18). L'aplatissement égale $\frac{1}{299,152}$, la longueur d'un mille géographique de 15 au degré équatorial est de 3807t,23 (7420m,43). La table suivante montre la longueur croissante des degrés d'un méridien, depuis l'équateur jusque vers les pôles, telle que l'a fournie l'observation, c'est-à-dire modifiée par les perturbations des attractions locales.

PAYS.	LATITUDE géographique du milieu de l'arc mesuré.	LONGITUDE de l'arc mesuré.	RÉSULTATS DE L'OBSERVATION. Longueur d'un degré suivant la latitude du milieu de l'arc mesuré.	OBSERVATEURS.
Suède.................	66° 20′ 10″ 66 19 37	1° 37′ 19″6 0 57 30,4	57195,8 57201,8	Svanberg. Maupertuis.
Russie................	56 3 55,5	8 2 28,9	57137,0	Struve, Tenner.
Prusse................	54 58 26,0	1 30 29,0	57145,2	Bessel, Baeyer.
Danemark.............	54 8 13,7	1 31 53,3	57093,1	Schumacher.
Hanovre..............	52 32 16,6	2 0 57,4	57126,4	Gauss.
Angleterre............	52 35 45,0 52 2 19,4	3 57 13,1 2 50 23,5	57075,0 57071,8	Roy, Mudge, Kater.
France................	44 51 2,5	12 22 12,7	57012,5	Delambre, Méchain. Biot, Arago.
Amérique septentrionale.	39 12 0	1 28 45,0	56889,6	Mason, Dixon.
Indes orientales.........	16 8 21,5 12 32 20,8	15 57 40,7 1 34 56,4	56773,6 56759,0	Lambton, Everest. Lambton.
Royaume de Quito...... (Hémisphère méridional.)	1 31 0,4	3 7 3,5	56864,6	La Condamine. Bouguer.
Cap de Bonne-Espérance. (Hémisphère méridional.)	33 18 30 35 43 20	1 13 17,5 3 34 34,7	57035,6 56932,5	Lacaille. Maclear

La détermination de la figure de la Terre par la mesure d'un degré du méridien, sous différents parallèles, exige une grande précision dans l'indication des longitudes. Déjà, en 1740, Cassini de Thury et Lacaille faisaient servir comme signal l'inflammation de la poudre à canon, pour mesurer une perpendiculaire au méridien de Paris. Depuis, lors de la grande triangulation de l'Angleterre, les longueurs des arcs de parallèles et les différences des méridiens ont été déterminées, de Beachy Head à Dunnose et de Douvres à Falmouth (20), avec des moyens d'exécution plus sûrs et une plus grande exactitude, mais entre des longitudes distantes seulement de 1°26′ et 6°22′. La plus brillante de ces opérations est celle qui a embrassé un espace de 15° 32′ 27″, entre le méridien de Marennes, sur la côte occidentale de France, et celui de Fiume, à travers la chaîne la plus occidentale des Alpes et les plaines de Milan et de Padoue. Elle fut exécutée presque en entier sous ce que l'on est convenu d'appeler le parallèle moyen de 45°, par Brousseaud et Largeteau, Plana et Carlini. Les nombreuses expériences du pendule, faites à cette occasion dans le voisinage des chaînes de montagne, ont constaté de nouveau et d'une remarquable manière les attractions locales, révélées déjà par la comparaison des latitudes astronomiques avec les résultats des mesures géodésiques (21).

Après ce double procédé de mesure directe : la mesure par l'arc de méridien et la mesure par l'arc

de parallèle, nous devons citer encore un autre mode purement astronomique de déterminer la figure de la Terre. Le principe de cette méthode est l'influence que la Terre exerce sur le mouvement de la Lune, c'est-à-dire les inégalités des mouvements lunaires en longitude et en latitude. Laplace, qui le premier a découvert la cause de ces inégalités, nous a appris aussi l'application qu'on en peut faire, et a montré d'une façon fort ingénieuse comment cette méthode présente un avantage considérable, que ne peuvent offrir les mesures du degré calculées isolément ni les expériences du pendule, à savoir : l'avantage de déterminer par un résultat simple et unique la figure moyenne, c'est-à-dire la forme générale de la Terre. On relira avec plaisir le passage où l'auteur de la découverte dit en termes si heureux qu'un astronome, sans sortir de son observatoire, peut reconnaître dans les mouvements d'un corps céleste la forme particulière de la planète qu'il habite (22). Après une dernière révision des deux inégalités du mouvement de la Lune en longitude et en latitude, et en mettant à profit plusieurs milliers d'observations dues à Bürg, à Bouvard et à Burckardt (23), Laplace a trouvé, par sa méthode lunaire, un aplatissement de $\frac{1}{306}$, résultat assez rapproché de celui qu'ont donné les mesures de degré parallèle, qui est de $\frac{1}{299}$.

Les oscillations du pendule fournissent un troisième moyen de déterminer la figure de la Terre, c'est-à-dire, en supposant à la Terre la forme d'un ellip-

soïde, de reconnaître le rapport du grand axe au petit, moyen fondé sur la loi en vertu de laquelle la pesanteur augmente de l'équateur aux pôles. Déjà, vers la fin du xe siècle, durant la brillante période des khalifes Abassides (24), les astronomes arabes, et particulièrement Ebn Jounis, s'étaient servis du pendule pour mesurer le temps. Après une interruption de 600 ans, la même méthode fut mise en pratique par Galilée et par le Père Riccioli à Bologne (25). En combinant un système de rouages avec le pendule pour régulariser la marche de l'horloge, ainsi que cela avait été tenté pour la première fois, en 1612, à Padoue, dans les essais imparfaits de Sanctorius, et plus tard, en 1656, dans le beau travail de Huygens, et en comparant la marche de la même horloge astronomique à Paris et à Cayenne, Richer, en 1672, donna la première preuve matérielle des différents degrés d'intensité de la pesanteur sous différentes latitudes. Picard surveilla, il est vrai, les préparatifs de cette importante expédition, mais il ne s'est pas attribué le mérite de l'initiative. Richer quitta Paris au mois d'octobre 1671, et Picard, dans la description de la mesure du degré qui parut la même année, parle simplement d'une conjecture exprimée dans une séance de l'Académie par l'un des membres, conjecture d'après laquelle, en raison de la rotation de la Terre, les poids de l'horloge étaient plus légers sous l'équateur que vers les pôles (26). Il ajoute en termes dubitatifs que, d'après quelques observations faites à Londres, à Lyon et à Bologne,

il paraissait que le pendule à secondes devait être raccourci, à mesure que l'on approchait de l'équateur, mais que, d'une autre part, il n'avait pas une entière confiance dans les résultats obtenus, parce que, à La Haye, malgré la situation plus septentrionale de cette ville, la longueur du pendule avait été trouvée la même qu'à Paris. Il nous est démontré que Newton eut fort tard connaissance de la mesure du degré exécutée par Picard, mais nous ne savons malheureusement pas avec la même exactitude à quelle époque lui furent révélés les résultats si importants pour lui des expériences de Richer sur le pendule, qui datent, comme on l'a vu, de 1672, mais qui ne furent rendues publiques qu'en 1679; le même doute porte sur l'époque où Newton connut la découverte de l'aplatissement de Jupiter, faite par Cassini antérieurement à 1666. C'est surtout pour une époque où les vues théoriques offraient un attrait puissant aux observations, et où, par une heureuse rivalité, les observations réagissaient sur les théories, qu'il est d'un grand intérêt pour l'histoire d'une astronomie physique, fondée sur des principes mathématiques, de distinguer soigneusement les dates.

Les mesures directes d'arcs du méridien ou d'arcs parallèles, surtout si l'on s'attache, pour la première de ces opérations, à la mesure du degré exécutée en France, entre 44° 42′ et 47° 30′ de latitude (27), et si l'on compare, pour la seconde, les points situés à l'est et à l'ouest des Alpes Grecques, Cottiennes et Maritimes (28), prouvent déjà que la forme réelle

de la Terre dévie sensiblement de la forme ellipsoïdale géométrique. Les désaccords entre les diverses valeurs de l'aplatissement, fournies par les différentes longueurs du pendule, et la distribution des lieux où ces différences se manifestent, sont beaucoup plus surprenants encore. La détermination de la figure de la Terre par l'accroissement ou le décroissement de la pesanteur, c'est-à-dire par l'intensité de l'attraction locale, suppose que la pesanteur est restée, à la surface du sphéroïde terrestre, telle qu'elle était lors du passage de l'état liquide à l'état solide, et qu'aucun changement ne s'est produit depuis dans la densité (29). Malgré les perfectionnements apportés aux instruments et aux méthodes par Borda, Kater et Bessel, on ne peut citer actuellement dans les deux hémisphères, depuis les îles Malouines où Freycinet, Duperrey et sir James Ross, ont successivement établi leurs observations, jusqu'au Spitzberg, par conséquent depuis 51° 35′ de latitude australe jusqu'à 79° 50′ de latitude boréale, on ne peut citer, dis-je, que 65 à 70 points semés irrégulièrement, sur lesquels la longueur du pendule simple ait été déterminée avec la même précision que la position des lieux en latitude, longitude et hauteur au-dessus du niveau de la mer (30).

Il a été constaté par les expériences du pendule sur la partie d'un arc du méridien mesuré par les astronomes français, ainsi que par les observations du capitaine Kater dans la triangulation de la Grande-Bretagne, que les résultats ne peuvent être représentés

isolément par une variation de la pesanteur en rapport avec le carré du sinus de la latitude. Aussi le gouvernement anglais se décida-t-il, sur l'avis du vice-président de la Société Royale, Davies Gilbert, à organiser une expédition scientifique dont la direction fut confiée à mon ami Edouard Sabine, qui avait accompagné, en qualité d'astronome, le capitaine Parry, dans son voyage de découverte au pôle Nord. En 1822 et 1823, cette expédition avait conduit Sabine le long des côtes occidentales de l'Afrique, depuis Sierra Leone jusqu'à l'île Saint-Thomas, voisine de l'équateur; de là il remonta par l'île de l'Ascension vers les côtes de l'Amérique du Sud, depuis Bahia jusqu'à l'embouchure de l'Orénoque, puis vers les Indes occidentales et la Nouvelle-Bretagne; enfin il poussa, dans les régions polaires arctiques, jusqu'au Spitzberg et à une partie du Groënland oriental couverte de montagnes de glace, et qu'aucun navigateur n'avait encore visitée (lat. 74°32′). Cette brillante entreprise, si glorieusement accomplie, eut l'avantage d'être dirigée vers un objet unique, et d'embrasser des points distants les uns des autres de 93 degrés de latitude.

Le champ exploité par les astronomes français était plus éloigné à la fois de la zone équinoxiale et de la zone arctique; en revanche, les lieux d'observation, disposés en ligne droite, pouvaient être comparés directement avec l'arc partiel déterminé par les opérations astronomiques et géodésiques. Biot continua, en 1826, la série des expériences sur le pendule,

depuis Formentera, par 38° 39′ 56″, où il avait fait antérieurement des observations avec Arago et Chaix, jusqu'à l'île d'Unst, la plus septentrionale des îles Schetland, et renouvela ces expériences sur une plus vaste échelle, de concert avec Mathieu, sous les parallèles de Bordeaux, de Figeac et de Padoue, jusqu'à Fiume (31). Les résultats qu'il a obtenus, combinés avec ceux de Sabine, donnent, pour tout le quart de cercle de l'hémisphère septentrional, un aplatissement de $\frac{1}{290}$; mais, si l'on divise l'hémisphère en deux zones, on trouve depuis l'équateur jusqu'à 45° $\frac{1}{276}$, et depuis 45° jusqu'au pôle $\frac{1}{306}$ (32). La plupart des expériences ont démontré, dans les deux hémisphères, l'influence des masses compactes de basalte, de grunstein, de diorite et de mélaphyre, par opposition avec les roches spécifiquement plus légères des formations tertiaires et des terrains stratifiés; on a pu apprécier en particulier l'accroissement de la pesanteur dans les îles volcaniques (33). Toutefois on a observé aussi un grand nombre d'anomalies qui ne sauraient s'expliquer par ce que nous pouvons connaître de la constitution géologique du sol.

Pour l'hémisphère méridional, nous possédons une suite d'observations excellentes, mais peu nombreuses et clairsemées sur de vastes espaces, dont les auteurs sont Freycinet, Duperrey, Fallows, Lutke, Brisbane et Rumker. Ces observations confirment ce qui est si frappant dans l'hémisphère du nord, que l'intensité de la pesanteur varie sous la même latitude, et même

que l'accroissement de la pesanteur, de l'équateur au pôle, ne paraît pas suivre les mêmes lois sous des méridiens différents. Les expériences de Lacaille au cap de Bonne-Espérance, et celles de Malaspina dans le voyage de circumnavigation exécuté par les Espagnols, avaient répandu l'opinion que l'hémisphère du sud est notablement moins aplati que l'hémisphère du nord, mais, ainsi que je l'ai dit ailleurs (34), la comparaison des îles Malouines et de la Nouvelle-Hollande avec New-York, Dunkerque et Barcelone, a fourni des résultats plus exacts, qui ont démontré le contraire.

De tout ce qui précède il résulte que le pendule, espèce de sonde jetée dans les couches invisibles de la Terre, est cependant, pour la figure de notre planète, une source d'informations moins sûres que les mesures de degré et les mouvements de la Lune. Les couches concentriques et elliptiques de la Terre, homogènes, si on les considère isolément, mais recevant de la surface au centre un accroissement de densité dans un certain rapport avec les distances, et différant en quelques parties par leur nature, leur disposition et la succession des densités, peuvent produire des irrégularités locales dans l'intensité de la pesanteur. Si les conditions qui ont amené ces irrégularités sont beaucoup plus récentes que la solidification de la croûte extérieure, rien n'empêche de se représenter la figure de la surface terrestre comme échappant aux modifications locales qu'aurait dû causer le mouvement intérieur des masses en fusion.

Les différences des résultats dans les mesures du pendule sont d'ailleurs beaucoup trop grandes pour qu'il soit permis encore aujourd'hui de les attribuer à des erreurs d'observation. Dans les lieux où, en groupant et en combinant diversement les stations, on a pu arriver à des résultats concordants, ou du moins constater une marche régulière, les pendules donnent toujours un aplatissement compris environ entre $\frac{1}{275}$ et $\frac{1}{290}$, plus considérable, par conséquent, que celui qui peut être déduit des mesures de degré.

Si nous nous en tenons au résultat fourni par les mesures de degré, et le plus généralement adopté aujourd'hui d'après les derniers calculs de Bessel, soit $\frac{1}{299,152}$, il faut admettre que le gonflement de la Terre atteint, sous l'équateur, une hauteur de 10938 toises (3272077ᵗ — 3261139ᵗ), ou en milles géographiques 2 $\frac{4}{5}$, plus exactement 2,873 (35). Comme depuis longtemps on a pris l'habitude de comparer ce gonflement avec des massifs de montagnes dont les dimensions sont connues, je choisirai, comme point de comparaison, la plus haute d'entre toutes les cimes de l'Himalaya mesurées jusqu'à ce jour, le Kintschindjinga, haut de 4406ᵗ, suivant le colonel Waugh, et la partie du plateau du Tibet la plus rapprochée des lacs sacrés de Rakas-Tal et de Manassarovar, qui, d'après les calculs du lieutenant Henry Strachey, atteint la hauteur moyenne de 2400ᵗ. Par conséquent, le gonflement convexe de la Terre, sous la zone équatoriale, n'est

pas tout à fait triple du soulèvement de la plus haute montagne au-dessus du niveau de la mer. Il est à peu près quintuple de celui du plateau oriental du Tibet.

C'est ici le lieu de remarquer que les diverses valeurs de l'aplatissement, fournies par les seules mesures de degré et par la combinaison de ces mesures avec les expériences du pendule, ne donnent pas, pour le gonflement équinoxial, des résultats aussi différents que les fractions pourraient le faire croire au premier aspect (36). La différence entre $\frac{1}{310}$ et $\frac{1}{280}$, limites extrêmes de l'aplatissement, n'entraîne guère, entre le plus grand et le plus petit axe de la Terre, qu'une différence de 6600 pieds; ce n'est pas le double du Brocken ou du Vésuve; c'est le dixième environ de la valeur que donne pour le gonflement terrestre l'aplatissement représenté par $\frac{1}{299}$.

Aussitôt que des mesures de degré très-exactes, exécutées sous des latitudes très-différentes, eurent appris que la Terre ne peut avoir, à l'intérieur, une densité uniforme, puisqu'il est constaté que la valeur de l'aplatissement est beaucoup au-dessous de la fraction adoptée par Newton ($\frac{1}{230}$), et beaucoup au-dessus de celle à laquelle s'était arrêté Huygens ($\frac{1}{578}$), dans la pensée que toute l'attraction était réunie au centre de la Terre, le rapport entre la valeur de l'aplatissement et la loi de la densité à l'intérieur du globe devint un des objets importants du calcul analytique. Les spéculations théoriques touchant la

pesanteur conduisirent de bonne heure à tenir compte de l'attraction exercée par les grands massifs de montagnes, qui s'élèvent comme des écueils sur le lit desséché de la mer atmosphérique. Dès l'année 1728, Newton, dans son livre intitulé *Treatise of the System of the World in a popular way*, cherchait combien une montagne, ayant une hauteur de 2500 pieds et un diamètre de 5000, ferait dévier le pendule de la direction verticale. Ce fut vraisemblablement ce problème qui suscita les expériences peu concluantes de Bouguer sur le Chimborazo (37), celles de Maskelyne et de Hutton sur le mont Schehallien dans le Perthshire, près de Blair Athol; qui donna l'idée de comparer les longueurs du pendule obtenues par Carlini, à l'hospice du mont Cenis, sur un plateau de 6000 pieds, avec les observations faites par Biot et Mathieu au niveau de la mer, près de Bordeaux; qui enfin a amené les belles expériences auxquelles se sont livrés Reich et Baily, avec l'ingénieux instrument de la balance de torsion, inventée originairement par John Mitchell, et que Wollaston transmit à Cavendish (38). J'ai déjà parlé en détail, dans la description générale de la Nature (39), des trois méthodes qui peuvent servir à déterminer la densité de notre planète : la déviation du fil à plomb, les oscillations du pendule et la balance de torsion. Il ne me reste à mentionner ici que les expériences auxquelles Reich s'est consacré de nouveau, en 1847 et 1850, avec son infatigable ardeur, et qu'il a consignées dans un ouvrage récent (40). On peut résu-

mer, ainsi qu'il suit, les résultats obtenus jusqu'à ce jour :

Fil à plomb.

Mont Schehallien. — Moyenne entre le maximum (4,867) et le minimum (4,559) observés par Playfair. 4,713

Pendule.

Mont Cenis. — Observations de Carlini avec les corrections de Giulio 4,950

Balance de torsion.

Observations de Cavendish, calculées par Baily.... 5,448
de Reich, 1838.................... 5,440
de Baily, 1842.................... 5,660
de Reich, 1847-1850.............. 5,577

La moyenne des deux derniers résultats donne pour la densité de la Terre 5,62, celle de l'eau étant prise pour unité. Cette densité est de beaucoup supérieure à celle des basaltes les plus fins et les plus compactes, qui, d'après les nombreuses expériences de Leonhard, est comprise entre 2,95 et 3,67; elle dépasse même celle des pierres d'aimant, qui varie de 4,9 à 5,2; elle est un peu inférieure à celle de l'arsenic natif de Marienberg et de Joachimsthal (41). Nous avons déjà vu ailleurs (42) que, d'après la vaste étendue des couches stratifiées, des formations tertiaires et des terrains d'alluvion qui forment aujourd'hui la partie continentale de la surface terrestre, et entre lesquelles les faibles intervalles remplis par les

soulèvements plutoniens et volcaniques se détachent comme des îles au milieu des mers, les roches qui composent la partie supérieure de l'écorce terrestre atteignent à peine une densité de 2,4 à 2,6. Si maintenant on admet avec Rigaud que l'élément solide est à l'élément liquide dans le rapport de 10 à 27, et si l'on tient compte de la profondeur des eaux, qui, d'après les expériences de la sonde, dépasse 26 000 pieds, il résulte que la densité des couches de notre planète situées immédiatement au-dessous de la surface solide et de la surface océanique est à peine de 1,5. C'est certainement à tort, ainsi que le remarque un célèbre géomètre, Plana, que l'auteur de la *Mécanique céleste* attribue aux couches supérieures de la Terre la densité du granite, en exagérant même un peu cette densité, qu'il représente par 3, ce qui ne l'amène pas cependant à adopter pour la densité du centre de la Terre plus de 10,047 (43). Cette densité est de 16,27, suivant Plana, qui n'évalue pourtant celle des couches supérieures qu'à 1,83, en quoi il s'éloigne peu du résultat qui donne, pour la densité moyenne de l'écorce terrestre, 1,5 ou 1,6. Le pendule vertical, comme le pendule horizontal, autrement dit la balance de torsion, mérite d'être appelé un instrument géognostique ; mais la géologie des espaces souterrains et inaccessibles de notre planète, de même que l'astronomie des corps célestes opaques, doit être traitée avec une extrême circonspection. Je me propose d'ailleurs, dans la partie de cet ouvrage consacrée aux volcans, d'aborder des questions soulevées déjà par

d'autres que moi sur les courants qui se meuvent à travers la fluidité générale de l'intérieur de la Terre, sur la vraisemblance ou l'invraisemblance du flux et du reflux qui peuvent se produire dans des bassins isolés et incomplétement remplis, sur l'existence d'espaces vides sous les chaînes de montagnes (44). Dans un livre qui tend à représenter l'ensemble de la Nature, il n'est permis de négliger aucune des considérations auxquelles on peut être conduit par des observations positives ou même par des analogies prochaines.

CHALEUR INTERNE DE LA TERRE ET DISTRIBUTION DE CETTE CHALEUR.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 193-199 et notes 37-40.)

Les considérations sur la chaleur souterraine, dont l'importance a grandi depuis que l'on a si généralement reconnu le lien qui l'unit aux phénomènes de soulèvement et d'éruption, sont fondées en partie sur les mesures directes, et par conséquent incontestables, de la température dans les sources, les puits forés et les mines, et sur les calculs analytiques auxquels peuvent donner lieu le refroidissement progressif de la Terre et la conséquence qui a dû en résulter primitivement pour la vitesse de la rotation et la direction des courants de calorique souterrains (45). A son tour, la dépression polaire dépend du décroissement de la densité dans les couches concentriques et hétérogènes qui se sont superposées les unes aux autres. La première partie de ces recherches, la partie expérimentale, la plus sûre par conséquent et celle à laquelle nous devons nous borner ici, ne peut répandre de lumière que sur une épaisseur insignifiante de la croûte terrestre, et la seconde, la partie mathématique, en raison même de sa nature, fournit

des résultats plus négatifs que positifs. C'est elle qui, offrant à l'esprit l'association attrayante d'idées ingénieuses, a posé des problèmes qu'il n'est pas permis d'omettre tout à fait, lorsqu'on recherche les conjectures auxquelles ont donné matière l'origine des forces volcaniques et la réaction des masses bouillonnantes contre l'écorce du globe (46). Le mythe géognostique du Pyriphlegethon, par lequel Platon tentait d'expliquer l'origine des sources thermales et les éruptions des volcans, était né du besoin, senti de si bonne heure et si généralement, d'assigner une cause commune à un vaste ensemble de phénomènes mystérieux (47).

Au milieu des combinaisons multiples que créent, à la surface de la Terre, les effets de l'insolation et le rayonnement du calorique, parmi cette variété de roches qui, différant entre elles de composition et de densité, conduisent très-inégalement la chaleur, il y a lieu de s'étonner que le plus souvent, pourvu que les observations aient été faites avec soin et dans des circonstances favorables, l'accroissement de la température en raison de la profondeur ait donné, dans des localités fort différentes, des résultats aussi concordants. Les puits artésiens très-profonds sont ceux qui se prêtent le mieux aux observations, surtout lorsqu'ils sont remplis d'eaux troubles, un peu épaissies par l'argile, moins propres, par conséquent, à former des courants souterrains, et qu'il ne s'y infiltre pas beaucoup d'eaux étrangères, pénétrant à diverses hauteurs par les fissures latérales. Aussi

commencerons-nous, en raison de leur profondeur, par les deux puits artésiens qui comptent, d'ailleurs, parmi les plus dignes de remarque : le puits de Grenelle et celui de Neu-Salzwerk, dans les bains salés d'Œynhausen, près de Minden. Nous pouvons garantir l'exactitude des informations qui suivent.

D'après les mesures de Walferdin (48), auquel on doit tout un système d'appareils très-ingénieux, pour mesurer la température dans les profondeurs des sources et dans celles de la mer, le sol de l'abattoir du puits de Grenelle est à 36m,24 (111p.) au-dessus du niveau de la mer, et l'eau s'élève à 33m,33 (102p.) au-dessus du sol. La somme de ces deux hauteurs, 69m,57, est inférieure de 60 mètres environ à la surface inférieure de la couche de grès vert qui forme la colline de Lusigny, au sud-est de Paris, et dont les infiltrations fournissent vraisemblablement les eaux du puits de Grenelle. Le trou de sonde est creusé à une profondeur de 547m (1683p.) au-dessous du sol de l'abattoir ou de 510m,76 (1572p.) au-dessous du niveau de la mer. L'ascension totale des eaux est donc de 580m,33 ou de 1786 pieds. La température de la source est de 27°,75 du thermomètre centigrade (22°,2 Réaumur) : d'où il résulte que la température s'élève de 1 degré du thermomètre centigrade pour 32m,3 ou 99 pieds $\frac{1}{2}$.

L'orifice du puits de Neu-Salzwerk, près de Rehme, est à 217 pieds au-dessus du niveau de la mer; sa profondeur absolue, à partir du point où l'on a commencé à creuser le sol, atteint 2144 pieds. Les eaux

salines, qui jaillissent chargées d'une grande quantité d'acide carbonique, se trouvent par conséquent à 1926 pieds au-dessous du niveau de l'Océan; c'est peut-être la plus grande profondeur relative à laquelle les hommes soient parvenus à l'intérieur de la Terre. La source de Neu-Salzwerk, connue sous le nom de bain d'Œynhausen, a une température de 32°,8 (26°,3 Réaumur), et comme la moyenne de la température annuelle est, en ce lieu, un peu supérieure à 9°,6 (7°,7 Réaumur), on peut conclure que la température augmente de 1 degré centigrade par 30 mètres (92p. 4p.). Comparé au puits de Grenelle, celui de Neu-Salzwerk est, absolument parlant, de 461 pieds plus profond; il pénètre 354 pieds plus bas au-dessous du niveau de la mer, et la température de ses eaux est plus élevée de 5°,1 (49). Une augmentation de chaleur de 1 degré centigrade exige, à Paris, 7p. 1p. de plus en profondeur : la progression est par conséquent plus lente de $\frac{1}{14}$. J'ai déjà fait remarquer ailleurs (50) qu'Auguste de La Rive et Marcet ont constaté un résultat identique dans le puits artésien de Brégny, près de Genève, dont la profondeur n'est que de 221m (680p.), bien qu'il soit à plus de 1500 pieds au-dessus de la mer Méditerranée.

Si, à ces trois puits, dont les profondeurs sont respectivement de 547, 680 et 221 mètres, on en joint un troisième, celui de Monk Wearmouth, près de Newcastle, dont les eaux remplissent le fond d'une houillère, où les travaux, suivant les calculs de Phillips, ont été poussés jusqu'à une profondeur de

456^{m} (1404$^{p.}$) au-dessous du niveau de la mer, on trouve ce remarquable résultat que, dans quatre localités si distantes les unes des autres, la profondeur correspondante à 1 degré centigrade ne varie que de 91 à 99 pieds (51). Cependant, d'après les moyens en usage pour mesurer la chaleur souterraine à des profondeurs déterminées, on ne peut se flatter de trouver partout le même accord. Si, de plus, on admet que les eaux pluviales, qui s'infiltrent sur les hauteurs et se font équilibre comme dans des syphons, peuvent, en raison de la pression hydrostatique qu'elles exercent, déterminer l'ascension des sources à de plus grandes profondeurs, et que les eaux souterraines prennent la température des couches avec lesquelles elles se trouvent en contact, il s'ensuit que, en certains cas, les eaux des puits, communiquant avec les crevasses verticales, peuvent recevoir un nouvel accroissement de chaleur de profondeurs inconnues. Cette influence, qu'il ne faut pas confondre avec la conductibilité, variable suivant les roches, peut se faire sentir sur des points fort éloignés des puits. Il est vraisemblable que les eaux souterraines tantôt se meuvent dans des espaces resserrés, comme des ruisseaux qui courent à travers des ravins, ce qui fait que, sur plusieurs essais de puits artésiens, même très-rapprochés, quelques-uns seulement réussissent, et que tantôt elles remplissent de vastes bassins creusés horizontalement, circonstance qui favorise le travail. Les anguilles, les coquillages et les débris végétaux que l'on trouve, fort

rarement d'ailleurs, mêlés à ces eaux, sont l'indice d'une communication entre la surface du globe et les régions souterraines. Si, par les raisons qui précèdent, les sources ascendantes peuvent être quelquefois plus chaudes que ne le ferait supposer le peu de profondeur du puits, en revanche, des eaux plus froides, faisant irruption à travers les fissures transversales, peuvent quelquefois en abaisser la température.

On a déjà remarqué que les points situés sur une même ligne verticale, à une très-faible distance au-dessous de la surface de la Terre, ressentent, à des époques très-différentes, le maximum et le minimum que la position du Soleil et le changement des saisons produisent dans la température atmosphérique. D'après les observations toujours si précises de Quételet (52), les variations diurnes ne sont déjà pas sensibles à une profondeur de 3 pieds $\frac{4}{5}$. A Bruxelles, des thermomètres placés 24 pieds au-dessous du sol ont marqué la plus haute température le 10 décembre, la plus basse le 15 juin. Lors des belles expériences auxquelles Forbes s'est livré, dans le voisinage d'Édimbourg, sur la conductibilité de différentes roches, le maximum de chaleur s'est produit le 8 janvier dans le trapp basaltique de Calton-Hill, à 23 pieds de profondeur (53). D'après les expériences poursuivies par Arago durant plusieurs années dans le jardin de l'Observatoire de Paris, il ne s'est produit, en une année, que de très-faibles différences de température à 28 pieds au-dessous du sol. A 26 pieds $\frac{1}{2}$, Bravais a trouvé, près de Bossekop, dans le Finmarck,

par 69°58′, que la température variait encore de 1°. A mesure que l'on descend, la différence entre les plus hautes et les plus basses températures s'efface de plus en plus. Suivant Fourier, lorsque la profondeur croît en proportion arithmétique, les différences entre les températures forment une proportion géométrique décroissante.

La profondeur de la couche de température invariable dépend à la fois de la hauteur polaire, de la conductibilité des roches et de la différence thermométrique entre la saison la plus chaude et la plus froide. Sous la latitude de Paris (48°50′) il est de tradition de prendre la profondeur des caves de l'Observatoire (86 pieds) et leur température (11°,834) pour la profondeur et la température de la couche invariable. Depuis l'année 1783, où Cassini et Le Gentil ont placé dans ces souterrains, qui faisaient autrefois partie de carrières, un thermomètre d'une grande précision, le mercure a monté de 0°,22 (54). Cette élévation doit-elle être attribuée à un accident survenu dans l'échelle thermométrique, que cependant Arago avait rectifiée, en 1817, avec la précision qu'il mettait à toute chose, ou vient-elle réellement d'un accroissement de température? c'est ce que l'on ne sait pas encore d'une manière certaine. La température moyenne de l'air à Paris est de 10°,822. Bravais pense que le thermomètre des caves de l'Observatoire est placé déjà au-dessous de la couche de température invariable, bien que Cassini ait cru trouver une différence de 0°,02 entre la température de l'été et celle de l'hiver : il est vrai

que la température la plus élevée tombait en hiver (55). Si l'on prend la moyenne entre un grand nombre d'observations sur la chaleur du sol, recueillies entre les parallèles de Zurich (47°,22) et d'Upsala (59°,51), on trouve une augmentation d'un degré pour une profondeur de 67 pieds $\frac{1}{2}$. La profondeur correspondant à un degré de température ne varie, entre ces parallèles, que de douze à quinze pieds, encore cette variation ne se produit-elle pas régulièrement du Nord au Sud, parce que l'influence de la latitude, qu'il est impossible de nier, se combine, entre des limites si resserrées, avec l'influence de la conductibilité du sol et les inexactitudes des observations.

D'après la théorie de la distribution de la chaleur, la couche à laquelle les différences de température cessent d'être sensibles durant toute l'année est d'autant moins éloignée de la surface du sol qu'il y a moins d'intervalle entre le maximum et le minimum de la température annuelle. Cette considération a conduit mon ami M. Boussingault à la méthode ingénieuse et facile de déterminer la température moyenne des régions tropicales avec un thermomètre enfoui sous le sol, à une profondeur de 8 à 12 pouces, dans un endroit abrité. Il a mesuré particulièrement de cette manière la température des contrées comprises entre 10° de latitude boréale et 10° de latitude australe. Aux heures les plus diverses et même dans des mois différents, ainsi que le prouvent les expériences du colonel Hall, près du littoral de Choco, à Tumaco, celles de Salaza à Quito, celles de Boussingault à la

Vega de Zupia, à Marmato et à Anserma Nuevo, dans la vallée du Cauca, la température n'a pas varié de deux dixièmes de degré, et on n'a trouvé guère plus de différence entre cette température et la température moyenne atmosphérique, dans les lieux où la température atmosphérique a été déterminée par des observations horaires. Ce qui est particulièrement remarquable, c'est que cette identité, constatée par des sondages thermométriques, si l'on peut appeler ainsi des expériences faites à moins d'un pied de profondeur, ne s'est démentie nulle part, ni sur les rivages brûlants de la mer du Sud, à Guayaquil et à Payta, ni dans un village indien situé sur le versant du volcan de Purace, à 1356 toises (2643^{m},2) au-dessus du niveau de la mer, d'après mes mesures barométriques. Il n'y avait pas entre les températures moyennes de ces lieux, situées à des hauteurs si inégales, moins de 14 degrés de différence (56).

Il est juste, je crois, d'accorder une attention particulière à deux observations que j'ai faites sur les montagnes du Pérou et du Mexique, dans des mines plus hautes que le sommet du pic de Ténériffe, plus hautes que tous les lieux où jusque-là on avait porté un thermomètre. A plus de 12 000 pieds au-dessus du niveau de la mer, j'ai trouvé l'air souterrain de 14 degrés plus chaud que l'air extérieur. La petite ville péruvienne de Micuipampa est située, d'après mes calculs astronomiques et hypsométriques, par 6° 43′ de latitude boréale, sur une hauteur de 1857 toises, au pied du Cerro de Gualgayoc, célebre

par ses mines d'argent ; le sommet de cette montagne pittoresque, qui s'élève isolément comme un château fort, est de 240 toises plus élevé que le sol de la ville (57). A distance de l'entrée des galeries de la Mina del Purgatorio, la température de l'air extérieur était de 5°,7, mais dans l'intérieur des travaux, à une hauteur de 2 057 toises (12 342p.) au-dessus du niveau de la mer, le thermomètre marqua partout uniformément 19°,8 : différence 14°,1. La roche calcaire était parfaitement sèche et un très-petit nombre de mineurs étaient présents. Dans la Mina de Guadalupe, située à la même hauteur, la température de l'air intérieur était de 14°,4, ce qui réduit la différence à 8°,7. Les eaux qui s'échappaient de galeries très-humides étaient à 11°,3. Il est probable que la température moyenne annuelle de Micuipampa ne dépasse pas 7°,5. Au Mexique, dans l'une des belles mines d'argent de Guanaxuato, appelée la Mina de Valenciana (58), tandis que je trouvais pour la température de l'air extérieur, près du nouveau puits de tirage, situé à 7122 pieds au-dessus de la mer, 21°,2, le thermomètre marquait 27° au fond des puits, dans les Planes de San Bernardo, à 1530 pieds au-dessous de l'ouverture du Tiro Nuevo. C'est à peu près la température moyenne des côtes qui bordent le golfe du Mexique. 138 pieds plus haut que le sol des Planes de San Bernardo, on voit jaillir de la roche transversale une source à la température de 29°,3. La latitude australe de la ville de Guanaxuato, que j'ai déterminée moi-même, est de 21°0'; la température moyenne

tombe environ entre 15°,8 et 16°,2. Il serait hors de propos de hasarder ici des hypothèses sur les causes, peut-être purement locales, qui élèvent la température souterraine, sur des hauteurs de 6 000 à 12 000 pieds.

Le sol de glace que l'on rencontre dans les contrées les plus septentrionales de l'Asie forme avec ce phénomène un remarquable contraste. Bien que de très-bonne heure Gmelin et Pallas en aient parlé, on avait révoqué en doute jusqu'à leur existence; c'est tout récemment que les recherches habilement conduites d'Erman, de Baer et de Middendorff, ont permis de se faire une idée juste de l'étendue et de la profondeur de ces couches de glace souterraines. D'après les descriptions du Groënland par Cranz, du Spitzberg par Martens et Phipps, des côtes de la mer de Carie par Sujew, et en généralisant imprudemment les résultats, on se représenta toute la partie septentrionale de la Sibérie dépourvue de végétation, constamment gelée à la surface, et couverte, même dans la plaine, d'une neige éternelle. Ce n'est pas, comme on l'a supposé, le 67e degré de latitude qui marque, dans le nord de l'Asie, la limite extrême de la végétation des grands arbres, bien que les vents de la mer et la proximité du golfe de l'Obi ne leur permettent pas de croître près d'Obdorsk. La vallée de la Lena produit de grands arbres jusqu'au 71e parallèle. Dans les îles désertes de la nouvelle Sibérie, de nombreux troupeaux de rennes et d'innombrables lemmingues trouvent encore une

nourriture suffisante (59). Les deux voyages en Sibérie de Middendorff, que distinguent son esprit d'observation, sa hardiesse et sa persévérance, furent dirigés, de 1843 à 1846, vers le Nord, dans le pays de Taymir, jusqu'à 75°45′ de latitude; au Sud-Est, jusqu'au cours supérieur de l'Amour et à la mer d'Okhotsk. La première de ces périlleuses expéditions avait conduit le savant voyageur dans une région complétement inexplorée jusque-là, et qui offrait d'autant plus d'intérêt qu'elle est à égale distance des côtes orientales et des côtes occidentales de l'ancien continent. Dans le programme tracé par l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg, la mesure exacte de la température du sol et de l'épaisseur des couches de glace souterraines tenait la première place, avec la distribution des organismes, considérée surtout comme la conséquence des conditions climatologiques. Les expériences furent instituées dans des trous de sonde et des puits de 20 à 57 pieds de profondeur, sur plus de douze points différents, en particulier à Tourouchansk, sur le Jenisei et sur la Lena, à des distances relatives de quatre ou cinq cents milles géographiques.

Mais les plus importantes de ces observations ont été faites dans le puits de Schergin, situé à Iakoutsk, par 62°2′ de latitude (60). Il avait fallu rompre, pour le creuser, une couche de glace souterraine épaisse de 358 pieds. Le travail fut achevé en 1837. On disposa des thermomètres le long des parois, sur onze points placés au-dessous les uns des autres, depuis l'orifice

jusqu'au fond du puits. L'observateur devait, pour consulter l'échelle thermométrique, descendre dans une baine, en se tenant fortement à une corde. La série des observations, dont les erreurs ne sont évaluées en moyenne qu'à 0°,25, embrasse l'intervalle du mois d'avril 1844 au mois de juin 1846. Si l'on considère les résultats partiels, la diminution du froid n'est pas proportionnelle à la profondeur, mais, en somme, la température s'élève de plus en plus, comme on peut le voir par le tableau suivant :

Profondeur.	Température.
50 pieds anglais.	— 6° 61 Réaumur
100	— 5° 22
150	— 4° 64
200	— 3° 88
250	— 3° 34
382	— 2° 40

Après une discussion très-approfondie de toutes les observations, Middendorff adopte en moyenne, comme correspondant à une élévation thermométrique de 1 degré centigrade, une profondeur de 100 à 117 pieds anglais, c'est-à-dire de 75 à 88 pieds de Paris (61). Ce résultat témoigne, pour le puits de Schergin, d'un accroissement de température plus rapide que ne l'ont donné, dans l'Europe centrale, plusieurs puits artésiens parfaitement d'accord entre eux (62). La différence est comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{8}$. On a constaté que la température moyenne annuelle de Iakoutsk est de — 10°,15 du thermomètre centi-

grade (— 8°,13 Réaumur). D'après les observations poursuivies par Newerow pendant quinze années, de 1829 à 1844, la température de l'été et celle de l'hiver contrastent de telle façon que quelquefois, au mois de juillet et d'août, la température de l'air s'élève pendant quinze jours consécutifs jusqu'à 25° et même 29°,3 du thermomètre centigrade (20° et 23°,4 Réaumur), tandis que, en hiver, pendant les quatre mois de novembre, décembre, janvier et février, le thermomètre varie de 41°,2 à 55°,9 centigrade (33° et 44°,8 Réaumur) au-dessous de zéro. Il y a lieu de déterminer, en se guidant sur l'accroissement de la température constaté dans l'opération du forage, à quelle profondeur se trouve la couche de glace la plus voisine de 0°, en d'autres termes quelle est la limite inférieure de la glace souterraine. Suivant les calculs de Middendorff, complétement d'accord avec ceux qu'Erman avait faits bien antérieurement, il faut aller chercher cette limite à une profondeur de 612 à 642 pieds. D'autre part, l'élévation de température observée dans les puits de Mangan, de Schilow et de Dawidow, situés au milieu des collines qui bordent la rive gauche de la Lena, à un mille tout au plus d'Iakoutsk, autoriserait à croire que la couche normale de 0° se trouve à 300 pieds du sol, et peut-être même à une moindre profondeur (63). Il est vrai que ces puits n'ont pas atteint encore une profondeur de 60 pieds. Faut-il conclure que cette inégalité de niveau est seulement apparente, parce qu'une détermination numérique, calculée sur une profondeur

aussi peu considérable, ne présente aucune garantie, et que d'ailleurs l'accroissement de la température n'est pas toujours soumis à la même loi? Il est permis de douter d'après cela que si, par l'extrémité du puits de Schergin, on faisait passer un plan horizontal, sur une étendue de plusieurs centaines de toises, ce plan coupât dans toutes les directions les couches de glaces souterraines, et que ces couches se trouvassent toutes uniformément à la température de 2°,5 au-dessous de zéro.

Schrenk a examiné la glace souterraine dans le pays des Samoyèdes, par 67°,5 de latitude. A Poustojenskoy Gorodok, le forage du puits a été accéléré à l'aide du feu. On a trouvé, en été, la couche de glace à 5 pieds de profondeur, et on l'avait suivie jusqu'à 63 pieds, lorsque le travail a été subitement détruit. A peu de distance de là, sur les côtes d'Ustje, on a pu courir en traîneau durant l'été de 1813 (64). Pendant le voyage que j'ai fait en Sibérie, avec Ehrenberg et Gustave Rose, nous avons fait creuser le sol dans l'Oural, près de Bogoslowsk (latit. 59° 44′), sur le chemin qui conduit aux puits de Turjin (65). Le sol était tourbeux; à 5 pieds de profondeur on rencontra déjà des quartiers de glace mêlés comme des brèches à de la terre gelée; puis commença une couche compacte de glace dont, à 10 pieds, on n'avait pas encore pu trouver la fin.

D'après Middendorff, qui a généralisé d'une manière très-ingénieuse les résultats de l'observation, pour déterminer l'étendue géographique du sol de

glace, c'est-à-dire la circonscription dans laquelle on trouve, à une certaine profondeur, de la glace et de la terre gelée, depuis les régions les plus septentrionales de la Scandinavie jusqu'aux côtes orientales de l'Asie, il y a lieu de tenir compte des influences locales plus encore que pour la température de l'air. On peut bien dire d'une manière générale que l'influence atmosphérique est de toutes la plus sensible; cependant, ainsi que l'a déjà remarqué Kupffer, les courbures convexes ou concaves des lignes isogéothermiques ne sont pas parallèles aux lignes isothermiques qui marquent les températures moyennes de l'atmosphère. Les vapeurs de l'air qui se précipitent sur le sol et pénètrent à l'intérieur, l'ascension des sources d'eaux chaudes, le plus ou moins de conductibilité du sol, sont des circonstances particulièrement déterminantes (66). On lit dans le livre de Middendorff: « A l'extrémité la plus septentrionale du continent européen, dans le Finmark, par 70° et 71° de latitude, il n'y a pas encore de sol de glace continu: mais vers l'Est, en entrant dans la vallée de l'Obi, on trouve un véritable sol de glace à Obdorsk et à Beresow, 5 degrés au sud du cap Nord. Vers l'Est et le Sud-Est, le sol devient moins froid, à l'exception de Tobolsk sur l'Irtisch, où la température du sol est plus froide qu'à Witimsk, plus rapproché du nord d'un degré. Le sol de Tourouchansk sur le Jenisei, par 65°54', n'est pas gelé, mais il touche à la limite des couches de glace. A Amginsk, au sud-est de Iakoutsk, le sol est aussi froid qu'à Obdorsk, situé 5 degrés plus

loin vers le pôle. Il en est de même d'Oleminsk sur le Jenisei. De l'Obi au Jenisei, la courbe qui marque la limite du sol de glace paraît remonter de 2 degrés vers le Nord, pour fléchir de nouveau vers le Midi, et traverser la vallée de la Lena, de 8 degrés plus méridionale que le Jenisei. Plus loin encore vers l'Est, la ligne reprend la direction du Nord (67). » Kupffer, qui a visité les puits de Nertschinsk, donne à entendre que, indépendamment de la masse de glace qui forme pour ainsi dire un continent vers le Nord, le même phénomène doit se présenter, sous la forme d'îles, dans des contrées plus méridionales. En général, cette ligne isogéothermique est indépendante de celles qui marquent la limite des grands arbres et de la végétation.

C'est un point important pour la physique du globe d'en être venu graduellement à embrasser, sous une vue générale et cosmologique, toutes les relations de température que peut présenter l'écorce terrestre, dans la partie septentrionale de l'ancien continent, et d'avoir reconnu que, sous des méridiens différents, la limite du sol de glace passe par des latitudes très-diverses, de même que la ligne d'égale température annuelle, et celle de la croissance des arbres, ce qui doit entretenir à l'intérieur de la Terre de perpétuels courants de calorique. Dans la partie Nord-Ouest de l'Amérique, au mois d'août, Franklin a trouvé le sol gelé à une profondeur de 16 pouces. Sur un point des côtes plus rapproché de l'Est, par 71°12′ de latitude, Richardson a vu, au

mois de juillet, la couche de glace fondue jusqu'à 3 pieds au-dessous d'un sol couvert de végétation. Puissent de savants voyageurs nous éclairer bientôt sur l'ensemble des relations que présente la chaleur souterraine dans les deux hémisphères! Les vues générales, embrassant l'enchaînement des phénomènes, sont la voie la plus sûre pour découvrir les causes de ces anomalies mystérieuses que l'on se presse trop d'appeler des infractions aux lois de la nature.

ACTIVITÉ MAGNÉTIQUE DU CORPS TERRESTRE CONSIDÉRÉE DANS SON TRIPLE MODE D'ACTION : L'INTENSITÉ, L'INCLINAISON ET LA DÉCLINAISON. — POINTS SUR LESQUELS L'INCLINAISON EST ÉGALE A 90 DEGRÉS (PÔLES MAGNÉTIQUES). — COURBE DES POINTS OU L'ON N'OBSERVE AUCUNE INCLINAISON (ÉQUATEUR MAGNÉTIQUE). — QUATRE POINTS DE LA PLUS GRANDE INTENSITÉ, QUOIQUE D'UNE INTENSITÉ INÉGALE. — COURBE DE LA PLUS FAIBLE INTENSITÉ. — PERTURBATIONS EXTRAORDINAIRES DE LA DÉCLINAISON (ORAGES MAGNÉTIQUES); LUMIÈRE POLAIRE.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 200-226 et 499-517, notes 41-79; t. II, p. 399-405 et 610-611, notes 69-74; t. III, p. 451-453 et 677, note 27.)

La constitution magnétique de notre planète ne peut être connue que d'une manière indirecte, par les manifestations de la force terrestre, et à la condition qu'elles révèlent des rapports appréciables dans l'espace ou dans le temps. La force magnétique de la Terre a cela de particulier qu'elle se signale par des effets incessamment variables; on ne peut lui comparer, à ce point de vue, ni la température, ni les accumulations de vapeurs, ni la tension électrique des couches inférieures de l'atmosphère. Cette perpétuelle instabilité dans les états magnétiques et électriques de la matière, si étroitement liés entre eux, distingue aussi essentiellement les phénomènes de l'électro-magnétisme de ceux que produit, à des distances toujours

les mêmes, la force élémentaire de la matière, à savoir l'attraction des masses et l'attraction moléculaire. Or, la recherche de l'élément régulier dans les phénomènes variables est le premier but que l'on doive se proposer en étudiant les forces de la Nature. Si les travaux de Coulomb et d'Arago ont prouvé que l'activité électro-magnétique peut être éveillée dans les substances les plus différentes, Faraday, par sa brillante découverte du diamagnétisme, a montré, dans les différences des deux axes dirigés du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, l'influence, complétement étrangère à la gravitation, de l'hétérogénéité des substances. Sous l'action d'un aimant, l'oxygène enfermé dans un tube de verre mince se dirige paramagnétiquement, comme le fer, c'est-à-dire du Nord au Sud. L'azote, l'hydrogène et l'acide carbonique restent immobiles. Le phosphore prend la direction diamagnétique, c'est-à-dire parallèle à l'équateur, de même que le cuivre et le bois.

Dans l'antiquité grecque ou romaine, on connaissait l'adhésion du fer à l'aimant; l'attraction et la répulsion ; la propagation de la force attractive à travers des vases d'airain et des anneaux formant la chaîne, pourvu qu'un des anneaux soit en contact avec l'aimant (68); enfin, le défaut d'affinité pour l'aimant du bois et de tous les métaux autres que le fer. Quant à la propriété directrice que l'aimant peut transmettre aux corps mobiles, sensibles à son influence, elle était complétement ignorée des peuples occidentaux, des Phéniciens et des Étrusques, aussi bien que

des Grecs et des Romains. Ce n'est qu'à partir du XIe et du XIIe siècle que nous voyons répandue chez les nations de l'Occident la connaissance de cette vertu qui a contribué d'une manière si puissante aux progrès de la navigation, et qui depuis, en raison des services matériels qu'elle pouvait rendre, a constamment intéressé l'esprit à l'étude d'une force naturelle répandue sur toute la terre, et cependant si peu observée jusque-là. En énumérant les phases principales qui méritent d'être signalées dans l'histoire de la Contemplation du monde, nous avons eu déjà l'occasion de semer çà et là quelques-uns des détails que nous réunissons ici sous un même coup d'œil (69).

Chez les Chinois, la propriété inhérente à l'aimant de marquer le nord et le midi se trouve appliquée, au moyen d'une aiguille aimantée nageant sur l'eau, dans un temps qui précède peut-être l'invasion dorienne et le retour des Héraclides dans le Péloponèse. Mais il est digne de remarque que, chez les nations orientales de l'Asie, l'aiguille aimantée a servi aux voyages de terre avant de servir à la navigation. Dans la partie antérieure des chars magnétiques, une aiguille, nageant librement sur l'eau, faisait mouvoir le bras d'une petite figure qui montrait le sud. Un de ces appareils nommés Fse-nan (indicateurs du sud) fut donné en présent 1100 ans avant notre ère, sous la dynastie des Tscheu, à des ambassadeurs du Tounkin et de la Cochinchine qui avaient à traverser de vastes plaines pour retourner dans leur pays. Les chars

magnétiques étaient encore en usage au xve siècle après Jésus-Christ (70). On en conservait plusieurs dans le palais de l'empereur, qui, lorsqu'on construisait des cloîtres bouddhistes, servaient à orienter les faces de l'édifice. L'application fréquente de l'aiguille aimantée amena peu à peu les plus éclairés d'entre les Chinois à des considérations physiques sur la nature des phénomènes magnétiques. L'auteur chinois d'un Éloge de l'aimant, Kuopho, qui vivait à l'époque de Constantin, compare la force attractive de l'aimant avec celle de l'ambre frotté. « Il semble, dit-il, qu'un souffle du vent traverse mystérieusement ces deux substances, et se communique avec la rapidité de la flèche. » Ce souffle symbolique rappelle l'âme non moins symbolique que le fondateur de l'école ionienne, Thalès, attribuait aux deux substances attractives (71). Il est évident que, par l'âme, il faut entendre ici le principe intérieur de l'activité et du mouvement.

Comme, en raison de l'excessive mobilité de leurs aiguilles nageantes ou boussoles aquatiques, les Chinois pouvaient difficilement en mesurer les indications, elles furent, au commencement du xiie siècle après Jésus-Christ, remplacées par des aiguilles se mouvant librement dans l'air, mais suspendues à un fil de coton ou de soie très-ténu, suivant le procédé appelé aujourd'hui suspension à la Coulomb, et que Gilbert mit le premier en usage dans l'Europe occidentale. Ce fut avec cet appareil perfectionné que les Chinois commencèrent, dès la même époque, à déter-

miner la déclinaison occidentale qui, dans cette partie de l'Asie, paraît ne subir que des variations lentes et presque insensibles (72). Mais longtemps auparavant la boussole, qui n'avait servi d'abord que dans les voyages de terre, avait été mise à profit pour la navigation. Sous la dynastie des Tsin, au IVe siècle de notre ère, des jonques chinoises guidées par la boussole visitèrent les ports indiens et les côtes orientales de l'Afrique. Déjà deux cents ans plus tôt, sous le règne de Marc-Aurèle Antonin, appelé An-Toun par les historiens chinois de la dynastie des Han, des députés romains s'étaient rendus par eau dans le royaume de Tounkin, et delà en Chine. Mais ce n'était pas cette relation passagère qui pouvait faire entrer la boussole dans la pratique de la navigation européenne; il fallut attendre que l'usage en fût devenu général dans tout l'Océan Indien, sur les côtes de la Perse et de l'Arabie, et il n'en fut ainsi qu'au XIIe siècle. On ne sait même pas au juste si l'on doit l'importation de la boussole à l'influence directe des Arabes ou aux croisés qui, dès l'année 1096, entrèrent en commerce avec l'Égypte et l'Orient proprement dit. Dans les recherches chronologiques de ce genre, on ne peut guère prétendre à déterminer avec certitude que l'extrême limite en deçà de laquelle les faits se sont accomplis. La satire politique de Guyot de Provins (1199) fait mention de la boussole comme d'un instrument connu depuis longtemps du monde chrétien. Il en est également question dans la description de la Palestine due à l'évêque de Ptolémaïs, Jacques de Vitry,

et qui dut être achevée entre 1204 et 1215. C'est sous la conduite de la boussole que les Catalans naviguaient vers les îles du nord de l'Écosse, que les Basques allaient pêcher la baleine sur les côtes occidentales de l'Afrique tropicale, que les Normands visitaient les Açores, les îles Bracir de Picigano. Les *Leyes de las Partidas del sabio Rey don Alonso el nono*, qui datent de la première moitié du XIIIe siècle, célèbrent l'aiguille comme l'intermédiaire fidèle entre la pierre d'aimant et l'étoile polaire. Gilbert, dans son célèbre ouvrage *de Magnete Physiologia nova*, reconnaît que la boussole est une invention chinoise, mais il ajoute imprudemment qu'elle a été apportée en Italie par Marco Polo, « qui apud Chinas artem pyxidis didicit. » Or, Marco Polo ne commença qu'en 1271 les voyages qu'il acheva en 1295, et les témoignages de Guyot de Provins et de Jacques de Vitry prouvent qu'on navigua avec la boussole dans les mers d'Europe 60 ou 70 ans avant son départ. Les noms de Zohron et d'Aphron que Vincent de Beauvais (1224) donne aux deux extrémités de l'aiguille aimantée, dans son *Miroir de la Nature*, supposent l'intervention de pilotes arabes qui durent importer en Europe la boussole chinoise. Ici encore nous retrouvons ces peuples laborieux et savants de la péninsule arabique, dont la langue est trop souvent défigurée sur nos cartes du Ciel.

D'après ce que je viens de rappeler, il ne peut y avoir aucun doute que l'application de l'aiguille aimantée à la navigation européenne soit venue du

bassin de la mer Méditerranée, dans un temps qui ne peut être postérieur au XIIe siècle, et même que les premiers essais sont antérieurs à cette date. Les peuples qui eurent la plus grande part à cette nouveauté furent les pilotes mauresques, les Génois, les Vénitiens, les Majorquains et les Catalans. En 1346, les Catalans, conduits par leur célèbre navigateur, don Jayme Ferrer, étaient parvenus, sur la côte occidentale de l'Afrique, jusqu'à l'embouchure du Rio de Ouro par 23° 40′ de latitude boréale, et d'après le témoignage de Raymond Lulle, dans son livre intitulé *Fenix de las Maravillas del orbe* (1286), les habitants de Barcelone se servaient déjà longtemps avant Jayme Ferrer de cartes marines, d'astrolabes et de boussoles.

La connaissance de la déclinaison magnétique que les navigateurs indiens, malais et arabes, avaient empruntée simultanément à la Chine et que l'on appela d'abord simplement *variation*, sans rien spécifier, s'était naturellement répandue aussi dans le bassin de la mer Méditerranée. Cet élément si indispensable à la correction des calculs nautiques était alors déterminé moins d'après le lever et le coucher du Soleil que d'après l'étoile polaire, et toujours d'une manière fort incertaine. Déjà cependant il était indiqué sur les cartes marines; il l'était en particulier sur la carte si rare d'Andrea Bianco, qui fut dressée l'an 1436. Colomb qui, à l'origine, n'avait pas plus que Sébastien Cabot connaissance de la déclinaison magnétique, rendit cependant à la science, le 13 septembre

1492, le service de déterminer une ligne sans déclinaison magnétique située deux degrés et demi à l'est de l'île Corvo, l'une des Açores. En pénétrant dans la partie occidentale de l'océan Atlantique, il s'aperçut que la *variation* passait insensiblement du Nord-Est au Nord-Ouest. Cette remarque le conduisit immédiatement à l'idée qui depuis a tant préoccupé les navigateurs, de trouver la longitude à l'aide des courbes de *variations*, qu'il supposait encore parallèles au méridien. On voit par son Journal de bord que dans son second voyage, en 1496, incertain du lieu où il était, il essaya effectivement de s'orienter d'après des observations de déclinaison. La méthode dont Colomb pressentait la mise en œuvre était, à n'en pas douter, le secret infaillible que Sébastien Cabot, sur son lit de mort, se vantait de posséder par une révélation divine.

A la ligne sans déclinaison se rattachaient, dans l'imagination aventureuse de Colomb, d'autres vues un peu chimériques sur les changements de climat, sur la forme anormale de la Terre et les mouvements irréguliers des corps célestes. Ce fut là ce qui le détermina à changer une ligne physique de démarcation en une ligne politique. La ligne (raya) sur laquelle l'aiguille aimantée (agujas de marear) est directement tournée vers l'étoile polaire devint ainsi la limite des possessions portugaises et espagnoles : mais il fallait déterminer d'une manière précise, par les méthodes astronomiques, la longitude géographique de cette ligne de démarcation, et la suivre

dans les deux hémisphères, sur toute la surface terrestre. Ainsi un abus de l'autorité papale eut, pour le développement de la navigation et le perfectionnement des instruments magnétiques, les conséquences les plus imprévues et les plus heureuses (73). Felipe Guillen de Séville (1525), et vraisemblablement avant lui le cosmographe Alonso de Santa Cruz, qui avait donné des leçons de mathématiques au jeune empereur Charles-Quint, construisirent de nouvelles boussoles de *variation*, avec lesquelles on pouvait mesurer les hauteurs du Soleil. Alonso de Santa Cruz dessina, en 1530, un siècle et demi par conséquent avant Halley, la première carte générale des *variations*, dressée, à la vérité, d'après des matériaux fort incomplets. On peut juger de la curiosité qu'excita le magnétisme terrestre au XVIe siècle, depuis la mort de Colomb, et les débats auxquels donna lieu la ligne de démarcation papale, par le voyage de Juan Jayme, qui, en 1585, alla des Philippines à Acapulco avec Francisco Gali, à ce seul effet d'éprouver, durant une longue traversée dans la mer du Sud, un nouvel instrument de déclinaison que lui-même avait inventé.

Avec la tendance à l'observation se manifesta le goût des spéculations théoriques, qui toujours l'accompagnent et souvent même la devancent. Chez les Hindous et chez les Arabes, un grand nombre de traditions maritimes parlent d'îles rocheuses funestes aux navigateurs, parce que leur puissance magnétique attirait à elles le fer qui servait

à unir la charpente du navire, ou retenaient le navire immobile. Sous l'influence de ces fantaisies, on eut de bonne heure l'idée de représenter le point où devaient se réunir toutes les lignes de déclinaison magnétique par l'image matérielle d'une montagne d'aimant, voisine du pôle terrestre. Sur la carte du nouveau Continent qui fut jointe à l'édition de la géographie de Ptolémée publiée à Rome, en 1508, le pôle Nord magnétique est figuré par une île montagneuse, située au nord du Groënland (Gruentlant), qui est représenté comme une dépendance de l'Asie orientale. Le pôle Nord magnétique se rapproche insensiblement du Midi, dans le *Breve Compendio de la Sphera* de Martin Cortez (1545) et dans la *Geographia di Tolomeo* de Livio Sanuto (1588). Ce point, que l'on désignait sous le nom de *el Calamitico*, excitait une grande attente chez ceux qui prétendaient y parvenir. On était convaincu qu'on ne pouvait voir le pôle magnétique sans être témoin de *alcun miraculoso stupendo effetto*, et il fallut beaucoup de temps pour triompher de cette superstition.

Jusque près de la fin du XVI[e] siècle, l'attention fut exclusivement tournée vers le phénomène de la déclinaison, qui est en effet de la plus grande importance pour les calculs de bord et la détermination du lieu maritime. A la place d'une ligne unique sans déclinaison, découverte par Colomb en 1492, le savant jésuite Acosta qui, en 1589, avait pris des leçons de pilotes portugais, croyait pouvoir, dans son excellente *Historia natural de las Indias*, tracer quatre lignes sans

déclinaison, qui devaient partager toute la surface de la Terre. Comme les calculs de bord exigent, outre l'indication précise de la direction, c'est-à-dire outre la mesure de l'angle prise avec la boussole rectifiée, la longueur du chemin parcouru, l'introduction du loch, si imparfaites que soient encore aujourd'hui les indications de cet appareil, marque néanmoins une époque importante dans l'histoire de la navigation. Je crois avoir prouvé ailleurs (74), contrairement à l'opinion dominante, que la première trace certaine de l'application du loch (la cadena de la popa, la corredera) se trouve dans le Journal de Voyage tenu par Pigafetta pendant la traversée de Magellan, à la date du mois de juin 1521. Ni Colomb, ni Juan de la Cosa, ni Sébastien Cabot, ni Vasco de Gama, n'ont eu connaissance du loch : ils évaluaient à vue d'œil la vitesse du vaisseau, et mesuraient la longueur du chemin parcouru à l'aide de sabliers (ampolletas). Enfin, après n'avoir tenu compte pendant longtemps que de la déclinaison, c'est-à-dire de la distance angulaire de l'aiguille horizontale au pôle Nord géographique, on se décida à mesurer un autre élément de la force magnétique, l'inclinaison. Robert Normann détermina, à Londres, cette propriété de l'aiguille aimantée, à l'aide d'un inclinatorium inventé par lui-même, et avec une assez grande précision. Il fallut encore attendre deux siècles pour que l'on essayât de mesurer le troisième élément du magnétisme terrestre, à savoir, l'intensité même de cette force.

Un homme qu'admirait Galilée, et dont Bacon

méconnut complétement les services, William Gilbert, avait, à la fin du XVIe siècle, tracé la première esquisse grandiose du magnétisme terrestre (75). Le premier, il distingua clairement par leurs effets le magnétisme et l'électricité, mais il les regarda tous deux comme des émanations d'une force unique, inhérente à la matière, en tant que matière. De faibles analogies suffirent pour faire naître en lui d'heureux pressentiments, comme il est donné au génie d'en avoir. Guidé par cette conviction claire du magnétisme terrestre (de magno magnete tellure), il reconnut dès lors que la formation des pôles, dans les barres de fer verticales qui forment les montants des croix sur les vieux clochers des églises, est un effet de la force terrestre. Le premier, il enseigna, en Europe, à communiquer la vertu magnétique au fer par le frottement d'un aimant, ce qu'à la vérité les Chinois savaient faire depuis près de cinq siècles (76). Dès ce moment aussi Gilbert donnait la préférence à l'acier sur le fer doux, comme pouvant s'approprier d'une manière plus durable les propriétés magnétiques.

Dans le cours du XVIIe siècle, la navigation qui, chez les Hollandais, les Anglais, les Espagnols et les Français, avait déjà pris une immense extension, due au perfectionnement de la boussole et à la détermination plus précise des longitudes, reçut encore un développement nouveau, grâce à la connaissance des lignes de déclinaison, que le jésuite Acosta, ainsi qu'on vient de le voir, avait entrepris de combiner un système (77). Vers l'année 1616, Cornélius

Schouten marqua, au milieu de la mer du Sud, à l'est des îles Marquises, des points sur lesquels la variation est nulle. C'est encore dans cette région qu'est placé aujourd'hui le remarquable système isogonique, fermé sur lui-même, dans lequel chaque groupe de courbes concentriques présente une déclinaison moindre que le groupe qui l'enveloppe (78). Le désir de déterminer les longitudes non-seulement par la déclinaison, mais aussi par l'inclinaison magnétique, par un ciel couvert et vide d'étoiles, résultat si précieux que l'on ne pouvait assez le payer, disait Wright (79), amena la construction d'un grand nombre d'appareils magnétiques, et excita une vive émulation chez les observateurs. Le jésuite Cabeus de Ferrare, Ridley, Lieutaud (1668) et Henri Bond (1676), se signalèrent dans cette voie. Le débat qui s'engagea entre Henri Bond et Beckborrow ne fut peut-être pas, non plus que les quatre lignes sans déclinaison d'Acosta, sans influence sur la théorie de Halley, conçue dès l'année 1683, d'après laquelle il existe quatre pôles ou points de convergences magnétiques.

Halley marque une époque importante dans l'histoire du magnétisme terrestre. Il admettait pour chaque hémisphère deux pôles, l'un plus fort et l'autre plus faible, en tout quatre points où l'inclinaison de l'aiguille aimantée égale 90°, de même qu'aujourd'hui, sur chaque hémisphère, on constate, entre les quatre points de la plus grande intensité magnétique, une différence dans le maximum d'intensité, c'est-à-dire dans le nombre des oscilla-

tions de l'aiguille placée parallèlement à la direction du méridien magnétique. Le plus fort des quatre pôles de Halley était supposé situé par 70° de latitude australe, 120° à l'est de Greenwich, presque sous le méridien qui traverse le King George's sound, dans la partie de la Nouvelle-Hollande appelée terre de Nuyts (80). Les trois voyages maritimes que fit Halley en 1698, 1699 et 1702, sont postérieurs à la première conception d'une théorie qui reposait alors uniquement sur un voyage antérieur à Sainte-Hélène et sur des observations de déclinaisons incomplètes, dues à Baffin, à Hudson et à Cornélius de Schouten. Ce sont les premières expéditions dirigées vers un grand but scientifique, à savoir, l'étude de l'un des éléments de la force terrestre nécessaire à la sûreté de la navigation, qui aient été entreprises sous les auspices et avec l'initiative d'un gouvernement. Halley s'avança jusqu'à 52° au delà de l'équateur, et put construire la première carte des *variations* embrassant des espaces considérables. Cette carte assure à la science théorique du XIXe siècle un point de comparaison instructif, qui, bien qu'un peu rapproché de nous, permet déjà de contrôler le mouvement progressif des courbes de déclinaison.

Ce fut une heureuse pensée de Halley de relier graphiquement par des lignes les points d'égale déclinaison, et de présenter ainsi clairement et sous un seul coup d'œil l'ensemble des résultats acquis (81). Nos lignes isothermes ou d'égale température (températures moyennes de l'année, de l'été et de l'hiver),

qui de bonne heure furent favorablement accueillies des physiciens, ont été tracées par un procédé tout à fait analogue à celui des courbes isogoniques de Halley. Elles ont pour but, surtout depuis le développement et le perfectionnement qu'elles ont reçus par les soins de Dove, de mettre en lumière la distribution de la chaleur à la surface de la Terre, et le lien de dépendance qui rattache cette répartition à la configuration de l'élément liquide et de l'élément solide, en d'autres termes, à la situation respective des mers et des masses continentales. Les voyages purement scientifiques de Halley se détachent d'autant mieux de ceux qui furent entrepris plus tard aux frais des gouvernements, qu'ils ne furent pas, comme la plupart des autres, des voyages de découvertes géographiques. Outre les faits relatifs au magnétisme terrestre, le séjour d'Halley à Sainte-Hélène, en 1677 et 1678, a produit un catalogue important de constellations méridionales, on peut même dire le premier catalogue général qui ait été entrepris, depuis qu'à l'exemple de Morin et de Gascoigne on combina les lunettes avec les instruments de mesure (82).

Le XVIIe siècle avait acquis une connaissance plus approfondie des lignes de déclinaison, et avait tenté pour la première fois de déterminer théoriquement les points de convergence ou pôles magnétiques ; au XVIIIe siècle était destinée la découverte des variations horaires de la déclinaison. Graham, à Londres, eut l'incontestable mérite d'observer, le premier, ces variations horaires avec précision et avec suite (1722).

A Upsala, Celsius et Hiœrter apportèrent des renseignements nouveaux, dans la correspondance qu'ils entretinrent avec Graham (83); mais ceux qui pénétrèrent véritablement dans l'essence du magnétisme terrestre furent Brugmans, et Coulomb (1784-1788), doué de plus de sens mathématique que Brugmans. Leurs expériences ingénieuses embrassèrent l'attraction de toute espèce de substance, la distribution de la force magnétique dans une barre aimantée d'une forme déterminée, et la loi de son action à distance. Afin d'obtenir des résultats plus exacts, on se servit tantôt des oscillations d'une aiguille horizontale, suspendue à un fil, tantôt de la déviation par la balance de torsion.

La pensée d'étudier les différences d'intensité magnétique sur les divers points de la surface terrestre, et de les mesurer à l'aide des oscillations d'une aiguille placée verticalement dans le méridien magnétique, est due tout entière à la pénétration du chevalier Borda. Il obtint ce résultat, non par ses expériences personnelles, mais par le raisonnement et par ses instances persévérantes auprès des voyageurs qui se préparaient à des expéditions lointaines. Ses conjectures longuement mûries furent confirmées d'abord par les observations que Lamanon, le compagnon de La Pérouse, recueillit de 1785 à 1787, et qui restèrent longtemps ignorées et manuscrites, bien que le secrétaire de l'Académie des Sciences, Condorcet, en ait connu les résultats dès l'été de 1787. L'importante loi de l'intensité, variable avec la latitude magnétique, a été reconnue pour la pre-

mière fois dans cette malheureuse expédition de La Pérouse, dont les préparatifs faisaient espérer de si heureux résultats (84) : encore ne l'a-t-elle été que d'une manière incomplète, et peut-être m'est-il permis de me rendre ce témoignage qu'elle n'a véritablement reçu une existence scientifique que du jour où ont été publiées les observations que j'ai pu faire, de 1798 à 1804, dans la France méridionale, en Espagne, dans les îles Canaries, dans l'Amérique tropicale, sur l'Océan Atlantique et sur la mer du Sud. Pour l'inclinaison, les savants voyages de Le Gentil, Feuillée et Lacaille, le premier essai d'une carte de l'inclinaison par Wilke (1768), les mémorables voyages de circumnavigation de Bougainville, Cook et Vancouver, ont jeté un grand jour sur cet élément si important d'une théorie du magnétisme et néanmoins si négligé jusque-là : cependant tous les instruments étaient loin d'avoir la même précision, les observations n'étaient pas simultanées et avaient été recueillies sur les côtes et sur la mer plutôt qu'à l'intérieur des continents. Enfin, vers la fin du XVIIIe siècle, les observations de déclinaison faites par Cassini, Gilpin et Beaufoy, dans des stations magnétiques et avec des instruments plus parfaits (1784-1790), démontrèrent d'un manière plus rigoureuse l'influence périodique des heures et des saisons. Par là un élan plus général fut donné aux recherches magnétiques.

Cette émulation a pris, dans la première moitié du XIXe siècle, un caractère singulier. Non-seulement le

progrès a été presque simultané pour toutes les branches de la théorie du magnétisme terrestre, l'intensité, l'inclinaison et la déclinaison : il s'est révélé encore par de nouvelles découvertes sur la production du magnétisme et sur la manière d'en mesurer la distribution, ainsi que par le premier et brillant essai, dû à Frédéric Gauss, d'une théorie du magnétisme terrestre rigoureusement fondée sur le raisonnement mathématique. Les moyens que l'on a mis en usage pour arriver à ces résultats sont : le perfectionnement des instruments et des méthodes; les expéditions maritimes entreprises en vue de la science, qui pour le nombre et la grandeur dépassent tout ce qu'on avait vu jusque-là, et dans lesquelles tout a concouru, le soin des préparatifs, la généreuse sollicitude des gouvernements, le choix des chefs et des observateurs chargés de les accompagner; quelques voyages de terre pénétrant profondément à l'intérieur des régions continentales, enfin l'établissement d'un grand nombre de stations fixes, répandues en partie dans les deux hémisphères, sous des latitudes correspondantes et quelquefois presque aux antipodes l'une de l'autre. Ces observatoires à la fois magnétiques et météorologiques forment comme un réseau à la surface de la Terre. Grâce à une combinaison intelligente des observations publiées aux frais de l'État en Russie et en Angleterre, on a obtenu des résultats importants et inattendus. Un point qui devrait être le commencement et non la fin de toute recherche, à savoir, que telle ou telle force

de la nature agit conformément à une loi, a été déjà suffisamment établi dans plusieurs phases distinctes du magnétisme terrestre. Ce que l'on a pu découvrir jusqu'ici des rapports du magnétisme avec l'électricité en mouvement, la chaleur rayonnante et la lumière, ce que l'on sait des phénomènes tardivement observés du diamagnétisme et de la propriété spécifique que possède l'oxygène atmosphérique d'acquérir la polarité, nous ouvre du moins la perspective encourageante de pouvoir un jour envisager de plus près la nature même de la force magnétique.

Afin de justifier l'éloge que j'ai fait en général des travaux magnétiques appartenant à la première partie de XIXe siècle, je joins ici un tableau sommaire, tel que le comportent la forme et le sujet du *Cosmos*, des principaux efforts dirigés vers ce but. Comme les travaux se sont engendrés les uns les autres, tantôt je les rangerai dans un ordre chronologique, tantôt je les disposerai par groupes (85).

1803-1806. — Voyage de Krusenstern (*Krusenstern's Reise um die Welt*, 1812, traduit en français par Eyriès, 1821). Voyez t. III, p. 217, les parties astronomique et magnétique, qui sont l'œuvre d'Horner, et n'ont pas été comprises dans l'édition française.

1804. — Recherche de la loi qui règle l'intensité croissante de la force terrestre à partir de l'équateur magnétique, vers le Nord et vers le Sud, d'après des observations faites de 1799 à 1804. Voyez Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales du nouveau Continent*, t. III, p. 615-623; *Journal de Physique* de Delamétherie, t. LIX, 1804, p. 433. On trouvera joint à ce travail le premier essai d'un tableau de l'intensité magnétique;

voyez aussi le *Cosmos*, t. I, p. 505, note 59. Des observations plus récentes ont prouvé que le minimum d'intensité répond à l'équateur magnétique, mais que, dans les deux hémisphères, l'intensité ne va pas en croissant jusqu'aux pôles magnétiques.

1805-1806. — Gay-Lussac et Humboldt : Observations d'intensité dans le midi de la France, en Italie, en Suisse et en Allemagne. Voyez les *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. I, p. 1-22, et comparez : les observations faites par Quetelet en 1830 et 1839, ainsi que la carte de l'intensité magnétique horizontale entre Paris et Naples, qu'il a publiée dans les *Mémoires de l'Académie de Bruxelles*, t. XIV ; les observations de Forbes en Allemagne, en Flandre et en Italie (1832 et 1837), dans les *Transactions of the royal Society of Edinburgh*, t. XV, p. 27 ; les observations extrêmement exactes de Rudberg, en France, en Allemagne et en Suède (1832) ; enfin, les observations recueillies en 1837 et 1840 par le Dr Bache, *director of the Coast-Survey of the United States*, dans vingt et une stations différentes, et qui portent à la fois sur l'inclinaison et l'intensité.

1806-1807. — Longue suite d'observations sur les variations horaires de la déclinaison et le retour des orages magnétiques, faites à Berlin par Humboldt et Oltmanns. Ces observations, portant de préférence sur les solstices et les équinoxes, ont été recueillies à des intervalles de 5, 6, quelquefois 9 jours et autant de nuits, avec une lunette magnétique de Prony, qui permettait de distinguer un arc de 7 à 8 secondes.

1812. — Morichini, à Rome, prétend que des aiguilles d'acier non aimanté s'aimantent au contact de la lumière violette. Sur le long débat auquel donnèrent lieu cette assertion et les ingénieuses expériences de Mary Somerville, jusqu'aux résultats complétement négatifs de Riess et de Moser, voyez sir David Brewster, *Treatise of Magnetism*, 1837, p. 48.

1815-1818 et 1823-1826. — Deux voyages de circumnavigation entrepris par Otto de Kotzebue : le premier sur le *Rourik*, le second, cinq années plus tard, sur le *Predprijatie*.

1817-1848. — Longue série d'expéditions maritimes scientifiques, entreprises sous les auspices du gouvernement français et qui eurent de si heureuses conséquences pour les progrès du magnétisme terrestre : voyages de Freycinet sur la corvette *Uranie*, 1817-1820 ; de Duperrey, sur la frégate *la Coquille*, 1822-1825 ; de Bougainville, sur la frégate *Thétis*, 1824-1826 ; de Dumont d'Urville, sur *l'Astrolabe*, 1826-1829 ; du même, voyage au pôle sud sur *la Zélée*, 1837-1840 ; de Jules de Blosseville, voyage dans les Indes, 1828 (voyez Herbert, dans les *Asiat. Researches*, t. XVIII, p. 4, et Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 468) ; du même, voyage en Islande (voyez Lottin, *Voyage de la Recherche*, 1836, p. 376-409) ; de Du-Petit-Thouars et de Tessan, sur *la Vénus*, 1837-1839 ; de Le Vaillant, sur *la Bonite*, 1836-1837 ; de la Commission scientifique du Nord (Lottin, Bravais, Martins, Siljestrœm), voyage en Scandinavie, en Laponie, aux îles Feroër et au Spitzberg, sur la corvette *la Recherche*, 1835-1840 ; de Bérard au golfe du Mexique et dans l'Amérique du Nord, 1838 ; du même au cap de Bonne-Espérance et à Sainte-Hélène, 1842 et 1846 (voyez Sabine, dans les *Philosoph. Transactions* for 1849, 2e part., p. 175) ; de Francis de Castelnau, voyage dans les parties centrales de l'Amérique du Sud, 1847-1850.

1818-1851. — Suite des hardies expéditions entreprises dans les mers polaires arctiques, sous les auspices du gouvernement britannique, et dont John Barrow a eu le mérite d'être le premier promoteur : observations magnétiques et astronomiques d'Édouard Sabine, dans le voyage de John Ross au détroit de Davy, à la baie de Baffin et au détroit de Lancastre (1818), et dans le voyage de Parry aux îles de Melville, à travers le détroit de Barrow, sur l'*Hécla* et le *Griper* (1819-1820) ; voyage de sir John Franklin, du Dr Richardson et de Back (1819-1822) ; autre voyage des mêmes (1825-1827) ; voyage de Back seul (1833-1835) ; (un lichen, le *Gyrophora pustulata*, désigné par les chasseurs canadiens sous le nom de *tripe de roche*, fut, pendant plusieurs semaines, presque l'unique

nourriture de l'équipage. On peut voir l'analyse chimique de cette plante, par John Stenhouse, dans les *Philos. Transact.* for 1849, 2e part., p. 393); seconde expédition de Parry avec Lyon, sur le *Fury* et l'*Hécla* (1821-1823); troisième voyage de Parry avec James Clark Ross (1824-1825); quatrième voyage de Parry, tentative faite conjointement avec les lieutenants Foster et Crozier, pour pénétrer, sur la glace, au nord du Spitzberg, dans laquelle on parvint jusqu'à 82° 45′ de latitude (1827); deuxième voyage de John Ross, en compagnie de son savant neveu, James Clark Ross, et aux frais de Félix Booth, l'une des expéditions les plus longues et les plus dangereuses (1829-1833); voyage de Deaser et de Simpson, de la Hudson's Bay Company. Il faut encore citer les voyages entrepris récemment à la recherche de sir John Franklin par les capitaines Ommaney, Austin, Penny, sir John Ross et Phillips (1850 et 1851). L'expédition qui s'est avancée le plus loin vers le Nord est celle du capitaine Penny, qui a pénétré dans le canal Victoria, où débouche le canal Wellington, et qui a atteint 77° 6′ de latitude.

1819-1821.— Voyage de Bellinghausen dans l'Océan glacial antarctique.

1819. — Apparition du grand ouvrage de Hansteen, *Magnetismus der Erde,* terminé déjà depuis 1813. Il est incontestable que ce livre a contribué à relever les études magnétiques et leur a donné une direction meilleure. A la suite de ce beau travail, Hansteen a publié des cartes générales des courbes isodynamiques et isocliniques sur une partie considérable de la surface terrestre.

1819. — Observations de l'amiral Roussin et de Givry sur les côtes du Brésil, entre les embouchures du Marañon et de la Plata.

1819-1820. — Œrsted fait la grande découverte qu'un conducteur, traversé par un courant électrique qui forme un circuit non interrompu, exerce, pendant toute la durée du courant, sur la direction de l'aiguille aimantée, une action dé-

terminée dépendant de la position relative de cette aiguille. Cette découverte est, avec celle des métaux alcalins et le double mode de polarisation de la lumière, l'une des plus brillantes du XIXe siècle (86). Le premier développement qu'elle ait reçu est cette observation d'Arago que le fil conjonctif de laiton ou de platine, traversé par un courant électrique, attire la limaille de fer et la retient comme un aimant; et cette autre que, si l'on place des aiguilles dans l'intérieur d'un fil galvanique plié en hélice, il y a renversement des pôles dès que l'on change la direction des courants (voyez les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, 1820, p. 93-102, et les Œuvres d'Arago, t. IV, p. 409-418). La découverte de ces phénomènes, renouvelés dans des circonstances différentes, fut suivie des belles combinaisons d'Ampère touchant les effets électro-magnétiques que produisent les unes sur les autres les molécules des corps pondérables. Ces combinaisons théoriques furent confirmées par une série d'appareils nouveaux et ingénieux, et permirent de reconnaître des lois au milieu des nombreux phénomènes magnétiques qui souvent paraissaient contradictoires.

1820-1824. — Voyages de Ferdinand de Wrangel et d'Anjou (*le Nord de la Sibérie, Voyage parmi les peuplades de la Russie asiatique et dans la Mer Glaciale*, traduit du russe par le prince Galitzin. Paris, 1843). Voyez d'importantes apparitions de lumière polaire, t. II, p. 371.

1820. — Voyage de Scoresby, *Account of the Arctic Regions*. Voyez les expériences sur l'intensité, t. II, p. 537-554.

1821. — Découverte du thermo-magnétisme et de l'électricité thermique par Seebeck. Ce savant reconnaît que le contact de deux métaux inégalement échauffés, comme, par exemple, le bismuth et le cuivre, ou les différences de température dans les diverses parties d'un anneau métallique homogène, sont une source de courants électro-magnétiques.

1822-1823. — Deux importantes expéditions de Sabine, en vue de déterminer l'intensité magnétique et la longueur

du pendule, sous différentes latitudes. Sabine a visité les côtes orientales de l'Afrique jusqu'à l'équateur, le Brésil, la Havane, le Groënland jusqu'à 74°23′ de latitude, la Norwége et le Spitzberg, par 79° 50′. Les résultats de ces voyages, intéressants au point de vue du magnétisme, sont consignés dans le livre intitulé: *Account of Experiments to determine the figure of the Earth*, 1824, p. 460-509.

1822-1824. — Voyage de Weddell dans la mer polaire antarctique jusqu'à 74° 15′ (*A Voyage towards the south Pole performed in the years*, 1822-24, London, 1825).

1824. — Observations magnétiques d'Erikson, le long des rives de la mer Baltique.

1825. — Arago découvre le magnétisme de rotation. Arago eut la première révélation de cette découverte inattendue, sur le penchant de la colline de Greenwich, en remarquant que le voisinage de substances non magnétiques rendait plus rapides les oscillations d'une aiguille d'inclinaison. Les substances qui agissent sur les oscillations de l'aiguille, dans les expériences d'Arago, sont l'eau, la glace, le verre, le charbon et le mercure (87).

1825-1827. — Observations magnétiques de Boussingault, dans différentes parties de l'Amérique méridionale, en particulier à Marmato et à Quito. Voy. les *Annales de chimie et de physique*, t. XXXIV, p. 253 et 408.

1827-1828. — Observations sur l'intensité, recueillies par Keilhau dans vingt stations, dans le Finmark, au Spitzberg et dans l'île des Ours (*Reise i ost og vest Finmarken samt til Beeren Eiland og Spitzbergen*); par Keilhau et Bœck, dans l'Allemagne méridionale et en Italie. Voyez les *Astronom. Nachrichten* de Schumacher, n° 146.

1826-1829. — Voyage de l'amiral Lütke autour du monde. Ce qui concerne le magnétisme, dans la Relation de ce voyage, a été mis en œuvre avec un grand soin par Lenz, en 1834. La partie nautique a paru en 1836. Le Voyage de Lütke a été traduit du russe en français par F. Boyé. Paris, 1835.

1826-1830. — Observations du capitaine Philip Parker King, dans les parties méridionales des côtes orientales et occidentales de l'Amérique du Sud, au Brésil, à Montevideo, au détroit de Magellan, à Chiloé et à Valparaiso (2e édit., 1850).

1827-1829. — *État du Magnétisme terrestre pendant douze années* (Bruxelles), par Quetelet. Observations d'une grande exactitude consignées dans une série de Mémoires in-4°.

1827. — Recherches sur l'intensité relative du magnétisme, à Paris et à Londres, par Sabine. Hansteen avait fait en 1825 et 1828 une comparaison analogue entre Paris et Christiana (voyez *Meeting of the british Association at Liverpool*, 1837, p. 19-23). Grâce à ces comparaisons, les observations d'intensité recueillies par les voyageurs en France, en Angleterre et dans les pays du Nord, ont fourni, sur les oscillations de l'aiguille aimantée dans les trois villes ci-dessus, les rapports numériques suivants : pour Paris, 1,348; pour Londres, 1,372; pour Christiania, 1,423; le premier nombre a été déterminé par moi, le second, par Sabine, le troisième, par Hansteen. Tous ont été calculés en prenant pour unité l'intensité d'un point situé sur l'équateur magnétique, c'est-à-dire sur la ligne sans inclinaison qui traverse les cordillères du Pérou, entre Micuipampa et Caxamarca, par 7° 2′ de latitude et 81° 8′ de longitude occidentale. L'intensité de ce point, que j'ai moi-même représenté par 1,000, a servi de commune mesure pour les réductions, dans toutes les tables d'intensité qui ont été dressées pendant quarante ans (voyez Humboldt, *Recueil d'Observations astronomiques*, t. II, p. 382-385, et *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 622; Gay-Lussac, dans les *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. I, 1807, p. 21; Hansteen, *Ueber den Magnetismus der Erde*, 1819, p. 71; Sabine, dans *Report of the british Association at Liverpool*, p. 43-58). Mais on a objecté récemment avec raison que la ligne sans inclinaison ne relie pas entre eux les points de la plus faible intensité (88). Voyez Sabine, dans les *Philos. Transactions* for 1846, 3e part., p. 254, et dans le *Manual of*

Scient. Enquiry for the use of the British Navy, 1849, p. 17.

1828-1829. — Voyage de Hansteen et observations de Due (*Magnetische Beobachtungen im Europæischen Russland und dem œstlichen Sibirien bis Irkutsk*).

1828-1830. — Adolf Erman, voyage autour du monde à travers l'Asie septentrionale et les deux Océans, sur la frégate russe *Krotkoi*. L'identité des instruments et des méthodes et la précision avec laquelle ont été déterminés les lieux astronomiques assurent une renommée durable à cette entreprise, conduite par un observateur très-expérimenté et exécutée à ses frais. Voyez la carte générale de la déclinaison d'après les observations d'Erman, dans le *Report of the Committee relat. to the arctic Expedition*, 1840, pl. III.

1828-1829. — Humboldt poursuit, dans une maison magnétique construite exprès à Berlin, et avec une boussole de Gambey, les observations sur les variations horaires et les époques des grandes perturbations magnétiques, qu'il avait commencées en 1800 et en 1807, durant les solstices et les équinoxes. Mesures correspondantes, prises à Saint-Pétersbourg, à Nicolaïeff et dans les mines de Freiberg, à 216 pieds au-dessous de la surface du sol. Ces dernières mesures sont dues au professeur Reich. Dove et Riess ont continué jusqu'au mois de novembre 1830 les observations sur la déclinaison et l'intensité de la force magnétique horizontale. Voyez les *Annales* de Poggendorff, t. XV, p. 318-336; t. XIX, p. 375-391 (avec 16 tables); t. XX, p. 545-555.

1829-1834. — Belle série d'observations sur la déclinaison et l'intensité, faites le long des côtes Nord-Ouest de l'Amérique et dans les îles Sandwich, jusqu'au bord du cratère de Kiraueah, par le botaniste David Douglas, qui a trouvé la mort à Owhyhée, en tombant dans un puits où déjà s'était précipité un taureau sauvage. Voyez Sabine, *Meeting at Liverpool*, p. 27-32.

1829. — Kupffer, Voyage au mont Elbrouz dans le Caucase (*Rapport fait à l'Académie des Sciences sur un voyage*

dans les environs du mont Elbrouz, in-4°, p. 68 et 115).

1829. — Humboldt, observations sur le magnétisme terrestre, recueillies simultanément avec des déterminations de lieux astronomiques, durant un voyage exécuté par l'ordre de l'empereur Nicolas dans l'Asie septentrionale, entre 11° 3′ et 80° 12′ de longitude Est du méridien de Paris, c'est-à-dire jusque près du lac Dzaisan, et entre 45° 43′ et 58° 52′ de latitude; en d'autres termes, depuis l'île Biroutschicassa, dans la mer Caspienne, jusqu'à Werchoturie, dans la partie septentrionale de l'Oural. Voyez l'*Asie centrale*, t. III, p. 440-478.

1829. — L'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg approuve la proposition faite par M. de Humboldt de fonder des stations magnétiques et météorologiques dans les zones les plus diverses de la Russie d'Europe et de la Russie d'Asie, et de construire dans la capitale de l'Empire un observatoire physique central, sous l'active et savante direction du professeur Kupffer. Voyez le *Cosmos*, t. I, p. 510-513, note 66, et Kupffer, *Rapport adressé à l'Académie de Saint-Pétersbourg, relatif à l'Observatoire physique central, fondé auprès du corps des Mines,* dans les *Astronomische Nachrichten* de Schumacher, n° 726; voyez aussi *Annales magnétiques*, p. xi. Grâce à la sympathie constante du ministre des finances, le comte de Cancrin, pour toutes les grandes entreprises scientifiques, on put commencer, dès l'année 1832, des observations correspondantes et simultanées entre la mer Blanche et la Crimée, entre le golfe de Finlande et les côtes de l'Amérique russe, baignées par la mer du Sud (89). Une station magnétique permanente fut établie à Péking, dans un vieux cloître qui, depuis Pierre le Grand, est habité, à des intervalles périodiques, par des moines grecs. Le savant astronome Fuss, auteur des principales mesures qui ont servi à déterminer la différence de niveau entre la mer Caspienne et la mer Noire, fut désigné pour aller marquer en Chine la place des premiers établissements magnétiques. Plus tard, Kupffer,

dans une tournée d'inspection, a comparé entre eux et avec des instruments modèles tous les instruments employés dans les stations magnétiques et météorologiques situées à l'Est jusqu'à Nertschinsk (longit. 117° 16'). Les observations, excellentes sans aucun doute, que Fédorow a recueillies en Sibérie, n'ont pas encore été publiées.

1830-1845. — Observations d'intensité faites sur la frontière méridionale du Canada, par le colonel Graham, l'un des ingénieurs topographes des États-Unis (voyez *Philosoph. Transactions* for 1846, 3e part., p. 242).

1830. — Fuss, observations magnétiques, astronomiques et hypsométriques, recueillies dans le voyage du lac Baïkal à Péking, à travers Ergi Oude, Dourma et le plateau de Gobi, haut seulement, dans cette partie, de 2400 pieds. Le but du voyage était d'aller fonder à Péking un observatoire magnétique et météorologique, qui a servi pendant dix ans aux observations de Koranko. Voyez *Report of the seventh Meeting of the british Association*, 1837, p. 497-499, et Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 8; t. II, p. 141, et t. III, p. 468 et 477.

1831-1836. — Observations faites par le capitaine Fitzroy dans son voyage autour du monde, sur le *Beagle*, et dans le relevé des côtes de l'extrémité méridionale de l'Amérique, avec un inclinatorium de Gambey et des aiguilles oscillatoires qui lui avaient été remises par Hansteen.

1831. — Dunlop, directeur de l'Observatoire de Paramatta, observations recueillies dans un voyage en Australie. Voyez les *Philos. Transactions* for 1840, 1re part., p. 133-140.

1831. — Courants d'induction de Faraday, dont la théorie a été développée par Nobili et Antinori. — Grande découverte de la production de l'étincelle électrique par les aimants. Voyez les *Annales de Physique et de Chimie*, t. XLVIII, p. 402.

1833 et 1839. — Époques importantes par la première révélation des vues théoriques de Gauss. En 1833 paraît le livre intitulé *Intensitas Vis Magneticæ terrestris ad Mensuram absolutam revocata*. On lit à la page 3 : « Elementum tertium

intensitas usque ad tempora recentiora penitus neglectum mansit. » En 1839, l'immortel ouvrage connu sous le titre de *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* est publié par Gauss et Weber, dans les résultats des observations du *Magnetischen Vereins* de 1838 (p. 1-57).

1833. — Travaux de Barlow sur l'attraction exercée par le fer des vaisseaux, et sur le moyen de déterminer la déviation de la boussole qui résulte de cette attraction. — Recherche des courants électro-magnétiques dans les petites sphères d'aimant connues sous le nom de *terrellæ*. — Cartes générales des courbes isogoniques. On peut comparer Barlow, *Essay on magnetic Attraction*, 1833, p. 89, avec Poisson, *Sur les déviations de la Boussole produites par le fer des vaisseaux*, dans *les Mémoires de l'Institut*, t. XVI, p. 481-555. Voyez aussi Airy, dans les *Philos. Transactions* for 1839, 1re part., p. 167, et for 1843, 2e part., p. 146, et sir James Ross, dans les *Philos. Transact.* for 1849, 2e part., p. 177-195.

1833. — Moser, Méthode pour reconnaître la situation et la force des pôles magnétiques variables, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXVIII, p. 49-296.

1833. — Christie, *On the arctic Observations of Cap. Back*, dans les *Philos. Transactions* for 1836, 2e part., p. 377. Voyez encore un important Mémoire de Christie, publié antérieurement dans les *Philos. Transactions* for 1825, 1re part., p. 23.

1834. — Parrot, *Reise nach dem Ararat*. Voyez la partie magnétique, t. II, p. 53-64.

1836. — Observations du major Etscourt, dans l'expédition du colonel Chesney sur l'Euphrate. Une partie des observations d'intensité a été perdue dans le naufrage du bateau à vapeur *Tigris*, perte d'autant plus regrettable que l'on manque complétement d'observations exactes sur cette partie de l'Asie-Mineure et sur la contrée qui s'étend au sud de la mer Caspienne.

1836. — *Lettre de M. A. de Humboldt à S. A. R. le duc de*

Sussex, président de la Société royale de Londres, sur les moyens propres à perfectionner la connaissance du magnétisme terrestre par l'établissement de stations magnétiques et d'observations correspondantes, avril 1836. On peut voir les heureuses conséquences de cette démarche et l'influence qu'elle eut sur la grande expédition antarctique de sir James Ross, dans le *Cosmos,* t. I, p. 512, et dans le *Voyage to the Southern and Antarctic Regions* de sir James Ross, 1847, t. I, p. XII.

1837. — Sabine, *On the variations of the magnetic Intensity of the Earth,* dans le *Seventh Meeting of the british Association at Liverpool,* p. 1-85. Ce travail est le plus complet en ce genre.

1837-1838. — Le professeur Humphrey Lloyd élève un observatoire magnétique à Dublin. Voyez, sur les observations recueillies dans cet établissement, de 1840 à 1846, les *Transactions of the Royal Irish Academy,* t. XXII, 1re part., p. 74-96.

1837. — Sir David Brewster, *a Treatise on Magnetism,* p. 185-263.

1837-1842. — Voyages de sir Édouard Belcher à Singapore, dans la mer de la Chine et sur les côtes occidentales de l'Amérique. Voyez *Philos. Transactions* for 1843, 2e part., p. 113 et 140-142. Les observations de sir Édouard Belcher, comparées avec celles que j'ai recueillies moi-même à une époque antérieure, indiquent un déplacement des courbes fort irrégulier. J'ai trouvé, par exemple, que les inclinaisons étaient, en 1803, à Acapulco, à Guayaquil et à Callao de Lima, de + 38° 48′, + 10° 42′, — 9° 54′. Sir Édouard Belcher a trouvé + 37° 57′, + 9° 1′, — 9° 54′. Cela tiendrait-il à ce que les tremblements de terre, si fréquents le long de la côte du Pérou, exercent une influence locale sur les phénomènes dépendants de la force magnétique?

1838-1842. — Charles Wilkes, *Narrative of the United States exploring Expedition,* t. I, p. XXI.

1838. — Voyage du lieutenant James Sulivan, de Falmouth

aux îles Falkland. Voyez les *Philos. Transactions* for 1840, 1re part., p. 129, 140 et 143.

1838 et 1839. — Établissement de stations magnétiques dans les deux hémisphères, aux frais du gouvernement britannique et sous l'excellente direction du colonel Sabine. Les instruments furent envoyés en 1839. Les observations commencèrent à Toronto, dans le Canada, et à la Terre de Van Diémen, en 1840, au cap de Bonne-Espérance en 1841. Voyez sir John Herschel, dans le *Quarterly Review*, t. LXVI, 1840, p. 297; Becquerel, *Traité d'Électricité et de magnétisme*, t. VI, p. 173. Grâce au soin persévérant avec lequel le colonel Sabine, en qualité de *Superintendent of the colonial Observatories*, a mis en œuvre ce riche trésor de matériaux, qui comprend toutes les variations de l'activité magnétique, il a découvert des lois inconnues jusque-là et ouvert à la science de nouveaux horizons. Les résultats de ses recherches ont été consignés par lui dans une longue série de Mémoires insérés aux *Philosophical Transactions* de la Société royale de Londres, sous le titre de *Contributions to terrestrial Magnetism*, nos 1–9, et dans plusieurs écrits séparés qui servent de fondement à cette partie du *Cosmos*. Nous citons ici simplement quelques-uns des plus excellents d'entre ces ouvrages : 1° *Observations on days of unusual magnetic disturbances*, t. I, 1840-1844, et pour faire suite à ce travail, un Mémoire sur les orages magnétiques, dans les *Philos. Transactions* for 1851, 1re part., p. 123-139; 2° *Observations made at the magnetical Observatory at Toronto* (lat. bor. 43° 39′, longit. occid. 81° 41′), t. I, 1840-1842, et t. II, 1843-1845; 3° un Mémoire sur la marche irrégulière de la déclinaison magnétique, observée durant les deux moitiés de l'année à Sainte-Hélène, au château de Longwood (lat. austr. 15° 55′ long. occid. 8° 3′), dans les *Philos. Transactions* for 1847, 1re part., p. 54; 4° *Observations made at the magnet. and meteorol. Observatory, at the Cape of Good Hope*, 1841–1846, t. I; 5° *Observations made at the magnet. and meteorol. Observatory*

at Hobarton (lat. austr. 42° 52′, long. orient. 145° 7′) *in Van Diemen Island and on the Antarctic Expedition*, t. I, II et III, 1841-1852 (voyez, sur la ligne de démarcation des perturbations orientales et occidentales, t. II, p. IX-XXXVI); 6° Phénomènes magnétiques à l'intérieur du cercle polaire antarctique, à Kerguelen et à Van Diémen, dans les *Philos. Transactions* for 1843, 2e part., p. 145-231; 7° État des lignes isocliniques et isodynamiques dans l'Océan Atlantique en 1837, dans les *Philos. Transactions* for 1840, 1re part., p. 129-155; 8° Fondements d'une carte de l'Océan Atlantique, représentant, pour l'année 1840, les lignes de déclinaison magnétique, entre 60° de latitude boréale et 60° de latitude australe, dans les *Philos. Transactions* for 1849, 2e part., p. 173-233; 9° Sur les moyens en usage dans les observatoires des colonies anglaises pour mesurer les valeurs absolues de la force magnétique, son changement séculaire et sa variation annuelle (absolute values, secular change and annual variation of the magnetic form), dans les *Philos. Transactions* for 1850, 1re part., p. 201-219. Voyez en particulier la coïncidence de la plus grande proximité du Soleil avec la plus grande intensité de la force magnétique dans les deux hémisphères et l'accroissement de l'inclinaison, *ibid.*, p. 206; 10° Sur les lignes isocliniques et isodynamiques à l'extrémité septentrionale du nouveau continent, et sur la position géographique du point de la plus grande intensité (lat. 52° 19′), déduite des observations du capitaine Lefroy, dans les *Philos. Transactions* for 1846, 3e part., p. 237-336; 11° Lois périodiques des perturbations de la déclinaison ou des orages magnétiques à Toronto, dans le Canada, et à Hobarton, dans la terre de Van Diémen, et rapport de la période décennale des variations magnétiques avec la période, également décennale, de la fréquence des taches du Soleil, découverte à Dessau par Schwabe, dans les *Philos. Transactions* for 1852, 1re part., p. 121-124.

1839. — Tableau des lignes d'égale inclinaison et d'égale

intensité dans les îles Britanniques (*Magnetic isoclinal and isodynamic lines, from Observations of Humphrey Lloyd, John Phillipps, Robert Were Fox, James Ross and Edward Sabine*). En 1833, la *British Association* avait décidé à Cambridge que l'inclinaison et l'intensité seraient déterminées dans plusieurs parties du royaume. Dès l'été de l'année suivante, ce vœu était rempli par le professeur Lloyd et le colonel Sabine. En 1835 et 1836, le travail fut étendu au pays de Galles et à l'Écosse, et en 1838, des cartes isocliniques et isodynamiques de la Grande-Bretagne ont pu être jointes au *Report of the Meeting at Newcastle*, p. 49-196. Dans ces cartes, on a pris pour unité l'intensité magnétique de Londres.

1838-1843. — Sir James Clark Ross accomplit son grand voyage de découverte au pôle Sud, non moins admirable dans ses résultats, en ce qu'il a confirmé l'existence, jusque-là fort contestée, des régions polaires, que par le jour nouveau qu'il a répandu sur les conditions magnétiques d'une partie considérable de la surface terrestre. Cette expédition, dans laquelle les trois éléments du magnétisme terrestre ont été déterminés numériquement, embrasse presque les deux tiers de la surface qui forme les hautes latitudes de l'hémisphère méridional. Les observations magnétiques de sir James Ross ont été coordonnées et éditées par le colonel Sabine dans les *Philosophical Transactions* for 1843, art. x, et for 1844, art. vii. Une partie reste encore à publier.

1839-1851. — Observations de Kreil sur les variations de tous les éléments de la force terrestre et sur les influences présumées du Soleil et de la Lune, poursuivies durant plus de douze années à l'observatoire de Prague.

1840. — Observations magnétiques horaires, faites par Claude Gay avec une boussole de déclinaison de Gambey, pendant un séjour de dix années au Chili. Voyez l'ouvrage de ce savant intitulé : *Historia fisica y politica de Chile*, 1847.

1840-1851. — Résultats des observations magnétiques de Lamont, directeur de l'observatoire de Munich, comparées avec celles de Gœttingue, qui remontent jusqu'à 1835. Décou-

verte de l'importante loi réglant le retour périodique décennal des changements de déclinaison (*a*). Voyez Lamont dans les *Annalen* de Poggendorff, 1851, t. LXXXIV, p. 572-582, et Reslhuber, *ibid.*, 1852, t. LXXXV, p. 179-184. L'hypothèse d'un rapport entre les accroissements ou les diminutions périodiques des moyennes annuelles, formées avec les variations diurnes de la déclinaison, et la fréquence périodique des taches du Soleil, a été exposée pour la première fois par le colonel Sabine dans les *Philos. Transactions* for 1852, et quatre ou cinq mois plus tard par le savant directeur de l'observatoire de Berne, Rudolph Wolf, qui n'avait pas connaissance du premier travail, dans les Mémoires des *Schweizerischen Naturforscher* (90). L'ouvrage de Lamont, *Handbuch des Erdmagnetismus*, 1848, contient l'indication des moyens d'observation les plus récents, ainsi qu'une explication détaillée des méthodes.

1840-1845. — Bache (Director of the Coast Survey of the United States), *Observations made ad the magnetical and meteorological Observatory at Girad's College*, Philadelphia, 1847.

1840-1842. — Lieutenant Gilliss, *Magnetical and meteorological Observations made at Washington*, 1847, p. 2-319 (*Magnetic Storms*, p. 336).

1841-1843. — Observations de déclinaison faites par sir Robert Schomburgk dans les forêts de la Guyane, entre le mont Roraima et le petit village de Pizara, depuis 3° 39′ jusqu'à 4° 57′ de latitude. Voyez les *Philos. Transactions* for 1849, 2e part., p. 217.

1841-1845. — *Magnetical and meteorological Observations made at Madras*, in-4°.

1843-1844. — Observations magnétiques faites à l'observatoire astronomique de Makerstoun, dans le comté de Roxburgh en Écosse (lat. 55° 34′), par sir Thomas Brisbane. Voyez *Transactions of the royal Society of Edinburgh*, t. XVII, 2e part., p. 188, et t. XVIII, p. 46.

(*a*) Voir aux *Observations complémentaires*, pages 802 et 803 de ce volume.

1843-1849. — Kreil recherche l'influence des Alpes sur la manifestation de la force magnétique. Voyez les *Astronom. Nachrichten* de Schumacher, n° 602.

1844-1845. — Expédition de la *Pagoda* dans les hautes régions antarctiques, sous le commandement du lieutenant de la marine royale Moor, qui déjà avait pris part, sur le *Terror*, à l'expédition du pôle Nord, et du lieutenant d'artillerie Clerk, auparavant directeur de l'observatoire magnétique du cap de Bonne-Espérance. Cette expédition, qui a embrassé les trois éléments du magnétisme terrestre, entre 64° et 67° de latitude australe, et depuis 4° jusqu'à 117° de longitude orientale, est un digne complément des travaux de sir James Clark Ross au pôle Sud.

1845. — *Proceedings of the magnetical and meteorological Conference held at Cambridge.*

1845. — *Observations made at the magnetical and meteorological Observatory at Bombay under the Superintendency of Arthur Bedfort Orlebar.* L'observatoire a été bâti en 1841, dans la petite île de Colaba.

1845-1850. — *Results of the magnet. and meteorol. Observations made at the royal Observatory at Greenwich.* Ces observations ont fourni six volumes; l'observatoire magnétique date de 1838.

1845. — Simonoff, professeur à Kasan, *Recherches sur l'action magnétique de la Terre.*

1846-1849. — *Magnetic Survey of the Eastern archipelago,* par le capitaine de génie Elliot, de l'armée de Madras. Le capitaine Elliot a séjourné dans seize stations différentes, et plusieurs mois dans chacune. Il a visité ainsi Bornéo, Célèbes, Sumatra, les Nicobar et les îles Keeling, tout l'espace compris entre 16° de latitude boréale et 12° de latitude australe, entre 78° et 123° de longitude orientale. Il a comparé les observations recueillies dans ces parages avec celles de Madras. Voyez *Philos. Transactions* for 1851, 1re part., p. 287-331, et p. I-CLVII. On a joint à ce Mémoire des cartes représentant les

lignes d'égale inclinaison et d'égale déclinaison, ainsi que la force magnétique horizontale et la force totale. Le travail du capitaine Elliot, qui indique à la fois la situation de l'équateur magnétique et de la ligne sans déclinaison, est un des plus vastes et des plus distingués qu'aient vus paraître ces derniers temps.

1845-1850. — Brillantes découvertes de Faraday (91) : 1° sur la direction paramagnétique, c'est-à-dire dans le sens de l'axe de la Terre, et diamagnétique, c'est-à-dire parallèle à l'équateur, que prennent les corps oscillant librement, sous l'influence extérieure de l'aimant (voyez *Philos. Transactions* for 1846, § 2420, et for 1851, 1re part., §§ 2718-2796) ; 2° de l'influence exercée par l'électro-magnétisme sur un rayon de lumière polarisé, et du mouvement circulaire imprimé à ce rayon par l'effet du changement dans l'état moléculaire de la matière à travers laquelle passent le rayon polarisé et le courant magnétique (voyez *Philos. Transactions* for 1846, 1re part., §§ 2195 et 2215-2221) ; 3° sur la remarquable propriété qu'a l'oxygène, le seul gaz paramagnétique, d'exercer sur les éléments du magnétisme terrestre une telle influence que, comme le fer doux, quoique à un degré infiniment plus faible, il emprunte à la vertu communicative de la Terre la polarité d'un aimant, agissant d'une manière permanente et réciproque. Voyez *Philosoph. Transactions* for 1851, 1re part. §§ 2297-2967 (92).

1849. — Emory, *Magnetical Observations made at the Isthmus of Darien and at the City of Panama*, Cambridge (U. s.), 1850.

1849. — William Thomson, professeur à Glasgow, *a Mathematical Theory of Magnetism*, dans les *Philos. Transactions* for 1851, 1re part., p. 243-285. Pour ce qui concerne la distribution de la force magnétique, on peut comparer cette dissertation avec celle de Poisson, dans les *Mémoires de l'Institut*, 1811, 1re part., p. 1, et 2e part., p. 163.

1850. — Airy, *on the present State and prospects of the*

Science of terrestrial Magnetism, fragment d'un ouvrage qui excite l'attente du monde savant.

1852. — Kreil, recherches sur les variations de la déclinaison magnétique à Prague, causées par l'influence de la Lune, dans les années 1839-1849 (*Magnetische und meteorologische Beobachtungen zu Prag*). Sur les travaux antérieurs de cet observateur consciencieux, publiés de 1836 à 1838, voyez *Osservazioni sull' intensità e sulla direzione della forza magnetica istituite negli anni* 1836-1838 *all'I. R. Osservatorio di Milano*, p. 171.

1853. — Faraday, *On Lines of magnetic force and their definite character.*

1853. — Sabine, recherches sur les variations diurnes produites par la Lune dans la déclinaison magnétique, à Toronto, à Sainte-Hélène et à Hobarton; voyez les *Philosoph. Transactions* for 1853.

1853-1854. — Nouvelles preuves tirées par Sabine des observations de Toronto, de Hobarton, de Sainte-Hélène et du cap de Bonne-Espérance (1841-1851), confirmant la variation annuelle qui s'ajoute à la variation diurne moyenne de la déclinaison, et la correspondance de ses époques semestrielles avec celles du passage du Soleil à l'équateur. Voyez *Observations made at Toronto*, t. II, p. XXII, et *Proceedings of the Royal Society of London*, mai 1854.

Le tableau chronologique des travaux et des découvertes dont le magnétisme terrestre a été l'objet, dans la première moitié du XIXe siècle, durant laquelle je n'ai cessé de prendre à cette branche de nos connaissances le plus chaleureux intérêt, témoigne d'un double effort que le succès a couronné. La plus grande partie des travaux a été consacrée à observer de l'activité magnétique de la Terre, à déterminer numériquement tout ce qui peut être

mesuré dans le temps ou dans l'espace. La seconde partie, moins considérable, appartient à l'expérimentation, ce qui revient à dire que le physicien a suscité lui-même les phénomènes qui pouvaient le faire pénétrer dans l'essence de l'activité terrestre, et lui permettre d'approfondir la nature intérieure de la force magnétique. Deux procédés différents : d'une part, l'observation et le calcul appliqués à la direction et à l'intensité des phénomènes magnétiques; de l'autre, l'expérimentation portant sur la force magnétique en général, se sont prêté un mutuel secours qui a tourné au profit de la science. L'observation pure, indépendante, de toute hypothèse sur la cause commune des phénomènes et sur l'action réciproque des molécules à l'intérieur des substances, qui jusqu'ici échappe à nos perceptions et à nos mesures, nous a fait découvrir des lois numériques d'un haut intérêt. La pénétration merveilleuse qu'ont déployée les physiciens expérimentateurs leur a révélé, dans les corps solides et gazeux, des propriétés de la polarisation que nul n'avait soupçonnées jusque-là, et qui sont en rapport intime avec la température et la pression atmosphérique. Si importantes et si incontestées que soient ces découvertes, elles ne peuvent cependant pas, eu égard à l'état actuel de nos connaissances, être considérées comme l'explication et le principe des lois que l'on a pu constater jusqu'ici dans le mouvement de l'aiguille aimantée. Le plus sûr moyen d'arriver à épuiser tout ce qui dans l'espace est soumis à des mesures variables, et en même temps

d'élargir et d'achever la théorie mathématique du magnétisme terrestre, esquissée déjà à si grands traits par Gauss, c'est de continuer simultanément, et sur des points bien choisis de la surface terrestre, l'observation des trois éléments de l'activité magnétique. J'ai déjà indiqué ailleurs (93) et j'ai fait comprendre par des exemples les grands résultats que j'attends pour ma part de l'alliance entre l'expérimentation et les combinaisons mathématiques.

On ne peut se représenter ce qui se passe dans notre planète sans le rattacher à l'ensemble du monde. Le nom seul de Planète éveille déjà en nous l'idée de dépendance par rapport à un corps central, de liaison avec un groupe de corps célestes qui, bien que différant fort en étendue, ont vraisemblablement une même origine. De très-bonne heure on reconnut l'influence de la position du Soleil sur la manifestation du magnétisme terrestre. Cette influence fut très-clairement constatée par la découverte de la déclinaison horaire; elle l'avait été déjà confusément un siècle plus tôt, lorsque Kepler soupçonnait qu'une force magnétique dirigeait tous les axes des planètes vers une même région du Ciel. Kepler dit expressément que le Soleil est un corps magnétique, et que c'est en lui que réside la force qui meut les planètes (94). L'attraction des astres et la gravitation se présentaient alors sous le symbole de l'attraction magnétique. Horrebow, qui ne confondait point la gravitation avec le magnétisme, a défini la lumière une aurore boréale perpétuelle,

produite par les forces magnétiques dans l'atmosphère vaporeuse du Soleil (95). Depuis l'on a avancé, sur le mode d'action du Soleil, des opinions dont les divergences sont dignes de remarque.

Ou bien l'on s'est figuré que le Soleil, sans être lui-même un corps magnétique, agit sur le magnétisme terrestre par les changements qu'il amène dans la température : c'est l'opinion de Canton, d'Ampère, de Christie, de Lloyd, d'Airy ; ou l'on croit, avec Coulomb, que le Soleil est environné d'une atmosphère magnétique (96) qui agit sur le magnétisme terrestre, en lui communiquant quelque chose de sa puissance. La belle découverte, due à Faraday, des propriétés paramagnétiques de l'oxygène, a levé la grave difficulté qui empêchait d'admettre, avec Canton, que le passage du Soleil à travers le méridien du lieu produit, par un effet immédiat, une augmentation rapide et sensible dans la température de la Terre et des mers. Néanmoins le rapprochement de toutes les observations calculables et l'ingénieuse discussion qu'en a faite le colonel Sabine ont donné pour résultat que les variations périodiques, constatées jusqu'à ce jour dans l'activité magnétique de la Terre, ne proviennent pas des changements périodiques par lesquels passe la température de la région atmosphérique accessible à nos expériences. Les époques principales des variations diurnes de la déclinaison, ni celles des variations annuelles que Sabine a le premier pu déterminer exactement d'après un nombre immense d'observations, non plus que les périodes

de l'intensité moyenne, ne s'accordent avec les époques où se produisent les maxima et les minima thermométriques de l'atmosphère ou de l'écorce supérieure de la Terre (97). Les changements de période pour les phénomènes magnétiques les plus importants sont les solstices et les équinoxes. L'époque de la plus grande intensité magnétique, celle où, dans les deux hémisphères, l'aiguille d'inclinaison se rapproche le plus de la verticale, est l'époque de la plus grande proximité du Soleil (98), celle où le mouvement de translation de la Terre a la plus grande rapidité possible. Or, au périhélie, c'est-à-dire dans les mois de décembre, de janvier et de février, et à l'aphélie, c'est-à-dire dans les mois de mai, de juin et de juillet, les températures des zones situées au nord et au sud de l'équateur sont directement opposées. On ne saurait donc attribuer au Soleil, considéré comme principe de chaleur, les périodes croissantes ou décroissantes de l'intensité, de la déclinaison et de l'inclinaison.

Les moyennes annuelles, formées avec les observations recueillies à Munich et à Gœttingue, ont révélé au laborieux directeur de l'Observatoire royal de Bavière, le professeur Lamont, cette remarquable loi d'une période de 10 années et 1/3, reparaissant régulièrement dans les variations de la déclinaison (99). Durant la période de 1841 à 1850, la moyenne des variations mensuelles de la déclinaison a atteint son minimum précisément au milieu de 1844,

son maximum au milieu de 1849. Avant de connaître les résultats acquis en Europe, le colonel Sabine avait comparé les moyennes mensuelles, tirées d'observations recueillies sur des lieux situés presque aux deux extrémités de l'axe terrestre, à Toronto, dans le Canada, et à Hobarton, dans la terre de Van Diémen, durant les années 1843-1848, et avait été amené à reconnaître l'existence d'une cause périodique de perturbations. Cette cause vraiment cosmique paraît être les changements que l'atmosphère du Soleil subit également par périodes de dix années (100). Ainsi que je l'ai déjà exposé ailleurs (1), celui de tous les astronomes aujourd'hui vivants qui a observé le plus assidûment les taches du Soleil, Schwabe, a, durant une longue suite d'années (1826-1850), découvert que le nombre des taches du Soleil est soumis à des variations périodiques, de telle sorte que le maximum est tombé dans les années 1828, 1837 et 1848; le minimum en 1833 et 1843. « Je n'ai pas eu, dit-il, l'occasion d'examiner une série non interrompue d'observations plus anciennes, mais je penche volontiers à croire que cette période elle-même peut être changeante. » Les phénomènes lumineux qui se présentent dans d'autres soleils, doués d'une lumière propre, nous offrent en effet quelque chose d'analogue à cette variation, c'est-à-dire des périodes dans les périodes. Je rappellerai à ce sujet les changements si complexes d'intensité que Goodricke et Argelander ont curieuse-

ment étudiés dans β de la Lyre et Mira Ceti (2).

Si, conformément à l'opinion de Sabine, le magnétisme du corps solaire se manifeste par l'accroissement du magnétisme terrestre, lorsque la Terre se rapproche du Soleil, il y a lieu de s'étonner que, d'après les recherches approfondies de Kreil, l'influence magnétique de la Lune ne se fasse sentir ni dans ses différentes phases, ni dans son plus ou moins d'éloignement de la Terre. Il paraît que, relativement au Soleil, la proximité de la Lune ne compense pas la faiblesse de sa masse (*b*). Le principal résultat des recherches sur l'influence magnétique de la Lune, qui, suivant Melloni, ne produit qu'une trace de chaleur, est que, sur le sphéroïde terrestre, la déclinaison magnétique subit, durant une journée lunaire, un changement régulier, qui consiste à atteindre un double maximum et un double minimum (3). « Si la Lune, dit très-judicieusement Kreil, ne produit pas sur la surface terrestre un changement de température sensible pour nos appareils thermométriques, elle ne peut modifier par l'influence de la chaleur la force magnétique de la Terre, et, si l'on reconnaît cependant l'effet magnétique de la Lune, il faut admettre que cet effet se produit par un autre moyen. » Tout ce qui ne paraît pas être le produit d'une force unique ne peut être considéré comme existant par soi-même qu'après que l'on a éliminé un grand nombre de causes de perturbations étrangères; c'est le cas des influences lunaires.

Bien que jusqu'à présent les variations les plus con-

(*b*) Voir aux *Observations complémentaires*, page 802 de ce volume

sidérables et les plus sensibles dans les manifestations du magnétisme terrestre ne puissent être expliquées d'une manière satisfaisante par les maxima et les minima des changements de température, il n'y a pas de doute cependant que, avant un long temps, lorsque l'on aura mieux embrassé et mieux approfondi les phénomènes de l'activité magnétique, la grande découverte de la propriété polaire inhérente à l'oxygène atmosphérique ne jette un jour nouveau sur la génération même de ces phénomènes. Le concert harmonieux de toutes les forces qui animent l'univers ne permet pas de croire que cette propriété de l'oxygène et les modifications qu'y apporte l'accroissement de la température n'aient aucune influence sur la production des phénomènes magnétiques.

Il est très-vraisemblable, ainsi que l'a déclaré Newton, que les substances qui appartiennent à un même groupe de corps célestes, c'est-à-dire au même système planétaire, sont en grande partie les mêmes (4). De là on peut induire que ce n'est pas seulement sur notre planète que la matière soumise à la gravitation est douée aussi d'une activité électro-magnétique. L'opinion contraire rétrécirait arbitrairement l'horizon des grandes vues cosmologiques. L'hypothèse de Coulomb sur l'influence exercée par le soleil magnétique et reçue par la terre magnétique n'est au contraire en contradiction avec ucun des résultats obtenus jusqu'ici.

Si maintenant nous passons à la représentation

purement objective des phénomènes magnétiques, tels qu'ils se produisent en différentes parties de la surface de la Terre et suivant les diverses positions de notre planète par rapport au corps central, nous devons, dans les résultats numériques, distinguer nettement les variations qui se représentent à de courts intervalles et celles qui ne se renouvellent qu'après de très-longues périodes. Toutes sont subordonnées les unes aux autres, et se fortifient réciproquement ou se suspendent et se détruisent en partie, comme les cercles qui se coupent, en s'élargissant, à la surface des eaux agitées. Douze objets différents se recommandent surtout à l'attention :

Deux pôles magnétiques, situés l'un dans l'hémisphère austral, l'autre dans l'hémisphère boréal, à distances inégales des pôles de rotation. On appelle pôles magnétiques les points où l'inclinaison égale 90°, où par conséquent la force horizontale est nulle ;

L'équateur magnétique, c'est-à-dire la courbe sur laquelle l'inclinaison égale 0 ;

Les lignes d'égale déclinaison et celles sur lesquelles la déclinaison égale 0, en d'autres termes, les lignes isogoniques et les lignes sans déclinaison ;

Les lignes d'égale inclinaison ou lignes isocliniques ;

Les quatre points de la plus grande intensité magnétique. Deux de ces points, de force inégale, sont situés dans chaque hémisphère ;

Les lignes d'égale intensité ou isodynamiques ;

La ligne des ondulations magnétiques qui lie, sur

chaque méridien, les points de la plus faible intensité (5). Cette ligne est appelée quelquefois aussi équateur dynamique; elle ne coïncide ni avec l'équateur géographique ni avec l'équateur magnétique;

La limite de la zone, en général d'une très-faible intensité magnétique, qui joue, pour ainsi dire, le rôle d'intermédiaire, et dans laquelle les variations horaires participent alternativement, suivant les saisons, aux propriétés des deux hémisphères (6).

J'ai eu soin d'appliquer le mot pôle uniquement aux deux points de la Terre où la force horizontale disparaît, parce que, de nos jours, ainsi qu'on l'a déjà remarqué, ces points, qui sont vraiment les pôles magnétiques, ont été souvent et très à tort confondus avec les points de la plus grande intensité (7). Gauss a prouvé aussi qu'il y a de l'inconvénient à désigner sous le nom d'axe magnétique de la Terre la corde qui joint les deux points de la surface terrestre où l'inclinaison de l'aiguille est égale à 90° (8). Le lien intime qui rattache les uns aux autres tous les phénomènes dus à l'action d'une seule et même force permet heureusement de réunir, en les distinguant sous les trois points de vue de l'intensité, de l'inclinaison et de la déclinaison, toutes les manifestations du magnétisme terrestre.

INTENSITÉ.

La connaissance de l'élément le plus important du magnétisme, c'est-à-dire la détermination directe de la force totale de la Terre, a suivi, à un long inter-

valle, la connaissance de la direction horizontale et verticale de cette force. Les oscillations, dont la durée est la mesure de l'intensité magnétique, sont devenues pour la première fois, vers la fin du XVIIIe siècle, un objet d'expérimentation, et c'est seulement dans la première moitié du XIXe qu'on en a fait la matière de recherches sérieuses et persévérantes. En 1723, Graham mesura les oscillations de son aiguille d'inclinaison, afin de s'assurer si elles étaient constantes, et de découvrir le rapport de la force qui les produit avec la pesanteur (9). La première tentative pour évaluer l'intensité du magnétisme sur des points très-distants de la surface terrestre, d'après le nombre des oscillations accomplies dans un temps donné, fut faite par Mallet en 1769. Il trouva, avec des appareils fort imparfaits, que le nombre des oscillations était exactement le même à Pétersbourg par 59° 56′ de latitude, et à Paris par 67° 4′ (10) : d'où naquit le préjugé, qui se propagea jusqu'à Cavendish, que l'intensité de la force terrestre est égale sous toutes les zones. Ainsi qu'il me l'a souvent raconté lui-même, Borda, guidé par des considérations théoriques, s'était préservé de cette erreur, qu'avait évitée aussi Le Monnier. Mais le frottement de l'aiguille d'inclinaison employée par Borda sur le pivôt qui la supportait ne lui permit pas, dans le voyage qu'il fit aux îles Canaries, en 1776, de reconnaître les différences d'intensité entre Paris, Toulon, Santa-Cruz de Ténériffe et Gorée en Sénégambie, c'est-à-dire sur un espace de 35 degrés de latitude (11). Lamanon, le premier, con-

stata ces différences avec des instruments perfectionnés, durant la malheureuse expédition de La Pérouse (1785 et 1787). Mais, envoyées de Macao au Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Paris, ses observations restèrent, ainsi que je l'ai dit plus haut (12), enfouies dans les archives de l'Académie avec beaucoup d'autres documents.

Les premières observations d'intensité qui aient été rendues publiques, et qui furent faites aussi à la sollicitation de Borda, sont celles que j'ai recueillies durant mon voyage dans les régions équinoxiales du nouveau Continent, de 1798 à 1804. Les expériences faites antérieurement, de 1791 à 1794, par mon ami de Rossel, dans les mers de l'Inde, ont été imprimées quatre ans seulement après mon retour du Mexique. En 1829, j'eus la satisfaction de pouvoir continuer mes recherches relatives à l'intensité et à l'inclinaison magnétiques, sur une étendue de 188 degrés de longitude, depuis la mer du Sud jusqu'à la Dzoungarie chinoise, c'est-à-dire sur les deux tiers de l'hémisphère oriental et à travers des continents non interrompus. En latitude, j'ai exploré un espace de 72°, depuis 60° de latitude boréale jusqu'à 12° de latitude australe.

Lorsqu'on suit attentivement la direction des lignes isodynamiques ou courbes d'égale intensité, qui s'enveloppent les unes les autres, et que l'on passe des lignes extérieures, qui sont les plus faibles, aux lignes intérieures, dont la force augmente graduellement, on reconnaît dans chaque hémisphère, à des

distances très-inégales des pôles de rotation et des pôles magnétiques, deux points ou foyers de la plus grande intensité, l'un plus fort et l'autre plus faible. De ces quatre points, le plus fort, le foyer américain, est situé dans l'hémisphère du Nord par 52° 19′ de latitude et 94° 20′ de longitude occidentale (13); on place généralement le plus faible, souvent nommé aussi le foyer sibérien, par 70° de latitude et 117° 40′ de longitude orientale, mais peut-être doit-il être rapproché vers l'Ouest de quelques degrés. Dans le voyage de Parschinsk à Iakoutsk, en 1829, Erman a trouvé la courbe de la plus grande intensité (1,742) près de Beresowski Ostrow, par 115° 31′ de longitude orientale, 59° 44′ de latitude boréale (14). Des deux déterminations qui précèdent, celle du foyer américain est la plus sûre, du moins en ce qui concerne la latitude; la longitude est vraisemblablement un peu trop occidentale. L'ovale qui enferme le foyer septentrional le plus fort est situé, d'après cela, dans le méridien de la limite occidentale du Lac Supérieur, entre l'extrémité méridionale de la baie d'Hudson et le lac canadien Winnipeg. Ces mesures sont le fruit de l'importante expédition, faite en 1843 dans l'intérieur des terres, par l'ancien directeur de la station magnétique de Sainte-Hélène, le capitaine d'artillerie Lefroy. Le milieu de la Lemniscate qui relie les deux foyers de l'hémisphère septentrional paraît être situé au nord-est du détroit de Behring, plus près du foyer asiatique que du foyer américain.

Lorsque, en 1802, traversant la chaîne des Andes,

dans l'hémisphère méridional, je coupai l'équateur magnétique, c'est-à-dire la ligne sans inclinaison entre Micuipampa et Caxamarca, par 7° 2′ de latitude australe et 81° 8′ de longitude occidentale, et qu'à partir de cette ligne je vis l'intensité croître vers le Nord et vers le Sud, je généralisai outre mesure cette observation. Faute de points de comparaison, qui manquaient à cette époque et manquèrent longtemps encore, je conjecturai que l'intensité croissait sans interruption de l'équateur magnétique jusqu'aux deux pôles magnétiques, et que le maximum d'intensité se trouvait dans ces pôles, c'est-à-dire sur les points où l'inclinaison est égale à 90°. Quand, pour la première fois, on se sent sur la trace d'une grande loi de la nature, les aperçus qu'on se forme à la hâte ont le plus souvent besoin de rectification. Sabine, en s'appuyant sur les observations qu'il avait faites lui-même de 1818 à 1822, dans des zones très-différentes, et en comparant avec sagacité les résultats de plus en plus nombreux qui lui ont été fournis d'ailleurs, a prouvé que l'intensité et l'inclinaison se comportent et se modifient très-différemment, que, sur beaucoup de points, le maximum d'intensité est éloigné de l'équateur magnétique, et que dans les parties les plus septentrionales du Canada et du territoire qui avoisine la baie d'Hudson, depuis 52° 1/3 de latitude jusqu'au pôle magnétique, sous le méridien de 94 à 95° de longitude occidentale, l'intensité, au lieu d'augmenter, diminue (15). En 1845, sur le foyer de la plus grande intensité,

découvert au Canada par Lefroy, l'inclinaison n'était que de 73°7', et dans les deux hémisphères, on trouve des maxima d'intensité avec des inclinaisons relativement peu considérables (16).

Si abondantes et si précieuses que soient les observations d'intensité, dues aux expéditions de sir James Ross, de Moore et de Clerk, dans les mers Antarctiques, il reste encore beaucoup de doutes touchant la position des deux foyers de l'hémisphère méridional. Sir James Ross a plusieurs fois traversé les lignes isodynamiques de la plus grande intensité, et recueilli des observations d'après lesquelles Sabine, à la suite d'un examen attentif, a placé l'un des foyers par 64° de latitude, 135°10' de longitude orientale. Ross lui-même, dans la Relation de son grand voyage (17), supposait ce point situé près de la terre d'Adélie, découverte par Dumont d'Urville, c'est-à-dire environ par 67° de latitude et 137°40' de longitude orientale. Il croyait approcher de l'autre foyer en parcourant les parages situés par 60° de latitude et 127°20' de longitude ouest. Cependant, tout considéré, il inclinait à le placer beaucoup plus au Sud, sous un méridien plus oriental et non loin du pôle magnétique (18).

Après avoir fixé la situation des quatre maxima d'intensité, il convient de déterminer les rapports de leurs forces. Ce calcul peut se faire de deux manières : ou, d'après l'ancienne méthode, c'est-à-dire d'une manière relative, en prenant pour unité l'intensité que j'ai mesurée sur un point de l'équa-

teur magnétique, à l'endroit où il coupe la chaîne des Andes par 7° 2′ de latitude australe et 81° 8′ de longitude ouest; ou bien, en prenant des valeurs absolues, ainsi que l'ont proposé Poisson et Gauss (19). D'après l'échelle proportionnelle, l'intensité de Paris et celle de Londres ont été reconnues, en 1827, être dans le rapport de 1,348 à 1,372 (20). Si l'on traduit ces nombres en valeurs absolues, on obtient environ 10,20 et 10,38. Par suite de la même transformation, l'intensité du Pérou, que j'ai représentée par 1,000, devient 7,57; elle est plus grande encore que celle de Sainte-Hélène, qui est égale à 6,4. Tous ces nombres, en raison des années écoulées entre les comparaisons, doivent être encore modifiés. Il ne faut les considérer que comme provisoires, dans l'échelle relative, aussi bien que dans l'échelle absolue, bien que celle-ci mérite la préférence. Mais aujourd'hui même, si peu précis qu'ils soient, ils jettent un grand jour sur la distribution du magnétisme terrestre, de cet élément au sujet duquel on était encore, il y a moins de cinquante ans, dans la plus profonde ignorance. Ils fournissent, ce qui est d'une haute importance cosmologique, des points de départ historiques pour les changements que révèleront les siècles à venir, et dont le secret peut être dans la dépendance de la Terre par rapport à la force magnétique du Soleil.

Dans l'hémisphère du Nord, Lefroy a déterminé de la manière la plus satisfaisante l'intensité du foyer canadien, le plus puissant des deux, situé par 52° 19′

de latitude, 94°20′ de longitude occidentale. Sur l'échelle proportionnelle, si l'intensité de Londres est égale à 1,372, celle du foyer canadien est de 1,878; sur l'échelle absolue, elle est de 14,21 (21). Déjà à New-York, par 40° 42′ de latitude, Sabine avait trouvé une intensité presque aussi grande (1,803). L'intensité du foyer sibérien, que l'on suppose situé par 70° de latitude, 117° 40′ de longitude orientale, a été évaluée, d'après l'échelle relative, par Erman, à 1,74, et par Hansteen à 1,76, ce qui, en valeur absolue, revient à 13,3. L'expédition antarctique de sir James Ross donne à croire que la différence des deux foyers est moins grande dans l'hémisphère du Sud que dans l'hémisphère du Nord, mais que chacun des deux foyers austraux l'emporte sur les deux foyers boréaux. L'intensité du foyer austral le plus fort (latit. 64°, longit. orient. 135°10′) est, au moins, dans l'échelle proportionnelle, 2,06, et dans l'échelle absolue, 15,60 (22); celle du plus faible (latit. 60°, longit. occid. 127°20′?) est représentée, d'après sir James Ross, par 1,96 et 14,90 (23). Le plus ou moins de distance entre les deux foyers d'un même hémisphère est un élément important de leur puissance individuelle et de la distribution générale du magnétisme. Si les foyers de l'hémisphère méridional offrent une intensité sensiblement plus grande (valeur absolue 15,60 et 14,90) que les foyers de l'hémisphère septentrional (14,21 et 13,30), il n'en faut pas conclure que la force totale de l'un des hémisphères soit supérieure à celle de l'autre.

Les choses prendront un tout autre aspect, si, au lieu de partager le sphéroïde terrestre par l'équateur, on fait passer un plan par les méridiens de 100° et 280°, comptés de l'Ouest à l'Est à partir de l'observatoire de Greenwich. De cette façon, l'hémisphère oriental, le plus continental des deux, comprend l'Amérique du Sud, l'océan Atlantique, l'Europe, l'Afrique et l'Asie presque jusqu'au Baikal; l'hémisphère occidental, composé surtout d'îles et de mers, presque toute l'Amérique du Nord, la mer du Sud, la Nouvelle-Hollande et une partie de l'Asie orientale. Le méridien de 100° est situé environ 4° à l'ouest de Singapore, celui de 280° est situé 13° à l'ouest du cap Horn, et passe par Guayaquil. Sur la Terre ainsi partagée, les quatre points de la plus grande intensité et les deux pôles magnétiques appartiennent à l'hémisphère occidental (24).

L'importante observation d'Adolf Erman sur le minimum d'intensité observé dans l'océan Atlantique, à l'est de la province brésilienne de Espiritu Santo, par 20° de latitude, 37° 24′ de longitude occidentale, a été mentionnée déjà dans le premier volume de cet ouvrage (25). Il a trouvé pour valeur relative 0,7062, pour valeur absolue 5,35. Cette zone de la plus faible intensité a été traversée deux fois dans l'expédition antarctique de sir James Ross, entre 19° et 21° de latitude (26); elle l'a été aussi par les lieutenants Sulivan et Dunlop, dans leur voyage aux îles Falkland (27). Sur la carte isodynamique de l'océan Atlantique, Sabine a tracé d'un

rivage à l'autre la courbe de la plus faible intensité, que Ross appelle *the Equator of less intensity.* Elle coupe la côte de Benguela, sur le rivage occidental de l'Afrique, près de la colonie portugaise de Mossamedes, par 15° de latitude australe. Au milieu de l'Océan son sommet concave passe par 20°20′ de longitude Ouest, d'où elle se relève vers la côte du Brésil jusqu'à 20° de latitude australe. Il se peut qu'au nord de l'Équateur, 20° environ à l'est des Philippines, il se trouve aussi une autre zone de faible intensité, où la valeur relative de la force magnétique ne dépasse pas 0,97 ; c'est ce qu'éclairciront des recherches ultérieures.

Les matériaux récemment recueillis ne fournissent pas de raison de modifier beaucoup le rapport que j'ai indiqué dans le premier volume de cet ouvrage entre la plus faible et la plus forte intensité connue jusque-là. Elles sont entre elles comme 1 est à 2 $\frac{1}{2}$, ou plutôt comme 1 est à 3. Les désaccords proviennent de ce l'on change un peu capricieusement tantôt les maxima seuls, tantôt les minima et les maxima (28). Sabine a le mérite d'avoir, le premier, attiré l'attention sur l'importance de l'équateur dynamique (29). « Cette courbe, dit-il, relie, sur tous les méridiens géographiques, les points où la force magnétique est le moins sensible. Elle décrit autour de la sphère terrestre un grand nombre d'ondulations. Des deux côtés, la force magnétique augmente, à mesure que l'on remonte vers les hautes latitudes : ainsi cette courbe marque la limite entre les deux hémisphères

magnétique mieux que l'équateur magnétique, sur lequel la direction de l'aiguille aimantée est perpendiculaire à celle de la pesanteur. Tout ce qui concerne directement l'intensité même de la force terrestre est de plus de conséquence encore pour la théorie du magnétisme que ce qui a trait à la direction horizontale ou verticale de l'aiguille aimantée. L'équateur dynamique décrit un grand nombre de sinuosités, ce qu'il est facile de comprendre, puisque ces sinuosités dépendent de forces dont le foyer est aux quatre points de la plus grande intensité magnétique, points situés irrégulièrement et doués d'une puissance inégale. Ce qu'il y a de plus remarquable dans ces ondulations, c'est la grande convexité, dirigée vers le pôle austral, et située dans l'océan Atlantique, entre les côtes du Brésil et le cap de Bonne-Espérance. »

L'intensité de la force terrestre diminue-t-elle sensiblement sur les hauteurs auxquelles nous pouvons atteindre? Augmente-t-elle à l'intérieur du globe? La solution de ce problème exige des observations très-compliquées à la surface du sol ou dans les profondeurs de la Terre. Lorsque, en effet, dans les ascensions de montagnes, on cherche à comparer les effets produits par des hauteurs considérables, les massifs montagneux ne permettent pas de rapprocher assez les stations supérieures et les stations inférieures. La nature des roches et les filons invisibles des minéraux qui les traversent peuvent modifier les résultats; de plus, la connaissance incomplète des variations

horaires et accidentelles de l'intensité est une cause d'erreur pour des observations qui ne sont pas rigoureusement simultanées. Il arrive, par toutes ces raisons, qu'on attribue à la hauteur et à la profondeur des effets indépendants de ces circonstances. Dans les nombreuses mines où je suis descendu à des profondeurs très-considérables, en Europe, au Pérou, au Mexique, en Sibérie, je n'ai jamais trouvé de localités qui fussent de nature à inspirer quelque confiance (30). Il est nécessaire aussi d'indiquer si les profondeurs, quelles qu'elles soient, sont prises en dessus ou en dessous de l'horizon de la mer qui représente la surface moyenne du sphéroïde terrestre. Les puits de Joachimsthal, en Bohême, ont près de 2,000 pieds de profondeur absolue, et n'aboutissent cependant qu'à une couche située à 250 pieds au-dessus du niveau de la mer (31). Les ascensions aérostatiques offrent de tout autres conditions et beaucoup plus favorables. Gay-Lussac s'est élevé à 21,600 pieds au-dessus de Paris. La plus grande profondeur relative que l'on ait atteinte en Europe, avec les puits artésiens, est à peine la 11ᵉ partie de cette hauteur. Les observations que j'ai faites moi-même sur les montagnes, de 1799 à 1806, me disposent à croire que, somme toute, la force terrestre diminue à mesure qu'augmente la hauteur, bien que plusieurs résultats contredisent cette opinion, sans doute par suite des influences étrangères que j'ai signalées plus haut. J'ai choisi et j'ai réuni dans une note les cas les plus remarquables que m'ont

fournis les 125 mesures d'intensité prises par moi dans la chaîne des Andes, les Alpes suisses, l'Italie et l'Allemagne (32). Les observations embrassent toutes les hauteurs, depuis le niveau de la mer jusqu'à 14 960 pieds et la limite des neiges éternelles; mais ce ne sont pas les plus grandes élévations qui m'ont donné les résultats les plus sûrs. Les lieux les plus favorables se sont trouvé être un point de la Silla de Caracas, situé tout près de la côte de la Guayra, à 8 105 pieds de hauteur; le *Santuario de Nuestra Señora de Guadalupe* qui, bâti au sommet d'un mur abrupt de calcaire, semble flotter au-dessus de la ville de Bogota, à une hauteur de près de 2 000 pieds; enfin le volcan de Purace, élevé de 8 200 pieds au-dessus de la *plaza mayor* de la ville de Popayan. Kupffer sur le Caucase (33), Forbes en différentes parties de l'Europe, Laugier et Mauvais sur le Canigou, Bravais et Martins sur le Faulhorn et durant le séjour qu'ils firent courageusement auprès du faîte du Mont-Blanc, ont constaté que l'intensité diminue à mesure que la hauteur augmente. Il résulte même de la discussion générale à laquelle s'est livré Bravais que le décroissement de l'intensité est plus rapide dans les Pyrénées que dans les Alpes (34).

Les résultats complétement opposés auxquels est parvenu Quetelet, dans un voyage de Genève au col de Balme et au grand Saint-Bernard, rendent doublement désirable, si l'on veut trancher la question d'une manière décisive, que l'on s'isole complétement de la surface terrestre, et que l'on revienne au

moyen que Gay-Lussac employait dès l'année 1804, une fois en compagnie de Biot, le 24 août, une autre fois seul, le 16 septembre, c'est-à-dire que l'on entreprenne une série d'ascensions aérostatiques. Encore des oscillations mesurées à des hauteurs de plus de 18 000 pieds ne peuvent-elles nous renseigner d'une manière certaine sur la force magnétique qui se propage dans l'atmosphère qu'à la condition de corriger très-exactement la température des aiguilles avant et après l'ascension. Faute d'avoir pris cette précaution, on avait tiré des expériences de Gay-Lussac la conséquence très-erronée que la force terrestre restait la même jusqu'à la hauteur de 21 600 pieds (35); tandis qu'au contraire, en tenant compte de la diminution produite dans la longueur de l'aiguille par la température des régions supérieures de l'air, l'expérience constatait le décroissement de cette force (36). La brillante découverte, due à Faraday, de la propriété paramagnétique de l'oxygène n'est pas non plus à négliger pour le sujet qui nous occupe. Ce grand physicien fait remarquer lui-même que, dans les hautes couches de l'atmosphère, la diminution de l'intensité ne s'explique pas seulement par la distance qui sépare ces couches du foyer magnétique, c'est-à-dire du corps de la Terre, mais que la raréfection de l'air peut être de moitié dans cet effet, attendu que la quantité absolue d'oxygène contenue dans un pied cube d'air atmosphérique varie avec les différentes couches de l'air. Provisoirement, il me paraît que tout ce que

l'on est fondé à dire, c'est que, la propriété paramagnétique de l'oxygène atmosphérique diminuant en raison de la hauteur et de la raréfaction de l'air, cette diminution est une des causes qui concourent à modifier l'intensité magnétique. De leur côté, les changements de température et de densité, en déterminant des courants d'air ascendants, affaiblissent l'influence exercée par la raréfaction de l'air (37). Ces perturbations ont un caractère variable et essentiellement local; elles agissent dans l'atmosphère comme les roches à la surface du sol. Chaque fois que nous pouvons nous applaudir d'un nouveau progrès dans l'analyse de l'atmosphère et de ses propriétés physiques, nous reconnaissons que l'action commune et variable des forces de la nature est soumise à plus de chances encore que nous ne l'avions supposé, et ces chances nous avertissent de nous montrer de plus en plus circonspects dans les conclusions que nous tirons de nos expériences.

L'intensité de la force terrestre, mesurée sur des points déterminés du globe, a, comme tous les phénomènes du magnétisme, des variations horaires et des variations séculaires. Les variations horaires ont été clairement reconnues à Port Bowen, en 1825, dans le troisième voyage de Parry, par cet habile navigateur et par le lieutenant Foster. L'augmentation de l'intensité, du matin au soir, a été, dans les latitudes moyennes, l'objet des investigations les plus minutieuses de la part de Christie, d'Arago, d'Hansteen, de Gauss et de Kupffer (38). Comme

les oscillations horizontales sont préférables à celles de l'aiguille d'inclinaison, malgré le perfectionnement que cet instrument a reçu, on ne peut espérer d'obtenir les variations horaires de l'intensité totale sans la connaissance la plus exacte des variations horaires de l'inclinaison. Les stations magnétiques élevées dans les deux hémisphères du Nord et du Sud ont cet avantage considérable de fournir une immense quantité de matériaux à l'abri de tout soupçon. Il suffit, pour en donner une idée, de choisir deux points situés en dehors des tropiques, des deux côtés de l'équateur et presque à la même distance (39) : Toronto, dans le Canada, par 43° 39' de latitude boréale, et Hobarton, dans la Terre de Diémen, par 42° 53' de latitude australe : la différence des deux méridiens est de 15 heures environ. Les observations simultanées, faites dans l'une de ces deux stations durant les mois d'hiver, tombent pour l'autre dans les mois d'été. Les mesures prises, d'un côté, dans le jour, de l'autre, appartiennent généralement à la nuit. La déclinaison à Toronto est occidentale et de 1°33'; elle est orientale à Hobarton et de 9°57'. L'inclinaison à Toronto est dirigée vers le Nord et égale 75° 15'; à Hobarton elle est dirigée vers le Sud et égale 70°34'. L'intensité absolue de Toronto est de 13°90'; celle de Hobarton de 13°56'. De ces deux stations si heureusement choisies (40), celle du Canada présente d'après les recherches de Sabine, quatre changements de période; celle de la Terre de Diémen

n'en a que deux. A Toronto, en effet, la variation d'intensité a son principal maximum à six heures du soir et son principal minimum à 14 heures (2^h du matin), un second maximum plus faible à 20 heures (8^h du matin), et un minimum plus faible deux heures après; à Hobarton, au contraire, il n'y a qu'une seule progression décroissante de l'intensité, depuis le maximum, qui tombe entre 5 et 6 heures du soir, jusqu'au minimum qui se produit de 8 à 9 heures du matin, bien que l'inclinaison ait, comme à Toronto, quatre changements de période (41). En comparant les changements de l'inclinaison avec ceux de la force horizontale, on a constaté que, au Canada, la force totale de la Terre est plus grande durant les mois d'hiver, lorsque le Soleil est dans les signes austraux, que dans les mois d'été. De même, dans la Terre de Diémen, depuis octobre jusqu'à février, c'est-à-dire durant l'été de l'hémisphère austral, l'intensité dépasse la moyenne annuelle; elle reste en deçà, au contraire, depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'août. Ce ne sont pas, d'après Sabine, des différences de température qui fortifient le magnétisme terrestre; ce résultat est dû à ce que la Terre, dans cette partie de son orbite, est plus rapprochée du Soleil, agissant comme corps magnétique (42). A Hobarton, l'intensité absolue est, durant l'été de l'hémisphère austral, de 13,574; elle est, durant l'hiver, de 13,543. Ce que l'on sait des variations séculaires de l'intensité n'est fondé jusqu'ici que sur un petit nombre d'observations. Cette

force paraît avoir souffert quelque diminution à Toronto, de 1845 à 1849. La comparaison des observations que j'ai faites en 1806 avec celles qu'a recueillies Rudberg en 1832 donne pour Berlin le même résultat (43).

INCLINAISON.

La connaissance des courbes isocliniques, en d'autres termes, la connaissance de l'accroissement plus ou moins rapide de l'inclinaison, à partir de l'équateur magnétique, où l'inclinaison est égale à 0, jusqu'aux pôles magnétiques du Nord et du Midi, où disparaît la force horizontale, a gagné dans ces derniers temps une nouvelle importance, grâce à ce que la force totale de la Terre ne peut être déduite de l'intensité horizontale, si exactes que soient d'ailleurs les mesures, sans que l'on soit fixé sur la valeur de l'inclinaison. C'est à la hardiesse et à l'activité scientifique d'un seul navigateur que l'on doit des notions précises sur la situation des deux pôles magnétiques. Sir James Ross a déterminé la place du pôle Nord, pendant la seconde expédition de son oncle sir John Ross, de 1829 à 1833 (44), celle du pôle Sud, dans l'expédition antarctique qu'il commandait lui-même, de 1839 à 1843. Le pôle Nord magnétique, situé par 70°5′ de latitude, 99°5′ de longitude occidentale, est de 5 degrés plus éloigné du pôle de rotation de la Terre que le pôle Sud magnétique, situé par 75°5′ de latitude et 151°48′ de longitude orientale. La différence des longitudes entre les deux pôles magné-

tiques est de 109 degrés. Le pôle Nord appartient à la grande île Boothia Felix, voisine du continent américain, et qui fait partie du pays nommé d'abord, par le capitaine Parry, North Somerset; il est situé à peu de distance de la côte occidentale de l'île, non loin du promontoire Adélaïde qui s'avance entre King William's Sea et Victoria Strait (45). Il n'a pas été possible d'atteindre directement le pôle Sud, comme on avait atteint le pôle Nord. Le 17 février 1841, l'Erebus se trouvait par 76° 12′ de latitude australe et 161° 40′ de longitude orientale. L'inclinaison n'était encore que de 88° 40′, on en conclut qu'on était à 160 milles marines anglaises du pôle magnétique austral (46). De nombreuses observations de déclinaison, faites avec le plus grand soin et destinées à déterminer l'intersection des méridiens magnétiques, font supposer avec beaucoup de vraisemblance que le pôle austral est situé dans la grande contrée polaire antarctique South Victoria Land, à l'ouest des Albert Mountains, qui se relient au volcan actif de l'Erebus, haut de plus de 11 600 pieds.

J'ai exposé d'une manière complète, dans le premier volume du *Cosmos* (47), la situation de l'équateur magnétique et les changements séculaires que sa forme a subis. Sabine, le premier, détermina le nœud africain, c'est-à-dire le point où l'équateur magnétique coupe l'équateur géographique dans cette partie du monde, en 1822, au début de l'expédition qu'il entreprit en vue des expériences du pendule (48). Plus tard, en 1840, le même savant, comparant les obser-

vations de Duperrey, de Allen, de Dunlop et de Sulivan, dressa une carte de l'équateur magnétique, qui partant de Biafra, sur la côte occidentale de l'Afrique, par 4° de latitude boréale et 7° 10′ de longitude orientale, traversait l'océan Atlantique et la partie du Brésil située sous le 16ᵉ parallèle, entre Porto Seguro et le Rio Grande, pour rejoindre le point des Cordillères où j'avais surpris, près de la mer du Sud, le passage de l'inclinaison septentrionale à l'inclinaison méridionale (49). En 1837, le nœud africain était situé par 0°40′ de longitude orientale; en 1825, il avait été constaté qu'il se trouvait par 4°35′. Ainsi, le nœud, se déplaçant de l'Est à l'Ouest, s'était éloigné de l'île basaltique de Saint-Thomas, haute de 7 000 pieds, avec une vitesse un peu moindre que celle d'un demi-degré par an. Il résulte de ce mouvement que la ligne sans inclinaison se détournait vers le Nord, sur la côte africaine, tandis que, sur la côte du Brésil, elle fléchissait vers le Sud. La saillie convexe de l'équateur magnétique reste dirigée vers le pôle Sud, et, dans l'Océan, laisse, au maximum, entre elle et l'équateur géographique, un intervalle de 16 degrés. A l'intérieur de l'Amérique méridionale, dans la *terra incognita* de Matto-Grosso, entre les grands fleuves Xingu, Madera et Ucayale, les observations d'inclinaison font complétement défaut, jusqu'à la chaîne des Andes. C'est sur cette chaîne, 17 milles géographiques à l'est de la mer du Sud, entre Montan, Micuipampa et Caxamarca, que j'ai déterminé astronomiquement, par 7° 2′ de lati-

tude australe, 81° 8′ de longitude occidentale la position de l'équateur magnétique qui remonte, en cet endroit, dans la direction du Nord-Ouest (50).

Le travail le plus complet que nous possédions sur la situation de l'équateur magnétique est celui qu'a fait mon vieil ami Duperrey, pour les années 1823-1825. Il a traversé six fois cet équateur dans ses voyages de circumnavigation, et a pu, d'après ses propres observations, en tracer le développement sur une étendue de près de 220 degrés (51). Les deux nœuds sont situés, d'après la carte de Duperrey, l'un dans l'Océan Atlantique, par 3° 30′ de longitude orientale, l'autre dans la mer du Sud, entre les méridiens des îles Viti et Gilbert, par 175° de longitude orientale. Lorsque l'équateur magnétique a quitté les côtes occidentales de l'Amérique du Sud, vraisemblablement entre Punta de la Aguja et Payta, il se rapproche de plus en plus, dans la direction de l'Ouest, de l'équateur géographique, et n'en est plus qu'à 2 degrés, sous le méridien des îles Mendaña (52). 10 degrés plus à l'Ouest environ, sous le méridien qui traverse la partie la plus occidentale des îles Paumotu (Low Archipelago), par 151° 30′, le capitaine Wilkes a trouvé, en 1840, que la distance entre les deux équateurs était encore de 2 degrés de latitude (53). Le second nœud n'est pas, comme on l'a dit, éloigné du nœud atlantique de 180 degrés, ni situé par 176° 30′ de longitude occidentale, mais bien sous le méridien du groupe Viti, environ par 175° de longitude orientale ou, ce qui revient au même, 185° de longitude

occidentale. Si, par conséquent, en partant des côtes occidentales de l'Afrique, on se dirige vers l'Ouest, à travers l'Amérique du Sud, on trouve la distance indiquée entre les deux nœuds trop grande de 8 degrés et demi ; ce qui prouve que la courbe de l'équateur magnétique n'est pas une des grandes circonférences de la sphère terrestre.

D'après les nombreuses et excellentes déterminations du capitaine Elliot (1846-1849) qui, entre les méridiens de Batavia et de Ceylan, s'accordent d'une manière merveilleuse avec celles de Jules de Blosseville, l'équateur magnétique traverse l'extrémité septentrionale de Borneo, et courant presque exactement de l'Est à l'Ouest, touche la pointe Nord de Ceylan, par 9°45′ de latitude. Dans cette partie de son cours, la ligne de la moindre intensité totale est presque parallèle à l'équateur magnétique (54) ; mais plus loin, l'équateur pénètre dans la partie orientale du continent africain, au sud du cap Guardafui. Ce point important a été déterminé avec une grande précision par les calculs de Rochet d'Héricourt, dans son second voyage en Abyssinie (1842-1845), et par l'ingénieuse discussion dont ses observations magnétiques ont été l'objet (55). On retrouve l'équateur magnétique au sud de Gaubade, entre Angolola et Angobar, la ville principale du royaume de Schoa, par 10°7′ de latitude, 38°51′ de longitude orientale. Le cours de l'équateur magnétique, à l'intérieur du continent africain, depuis Angobar jusqu'au golfe de Biafra, est d'ailleurs aussi peu connu que

dans l'intérieur de l'Amérique du Sud, à l'est de la chaîne des Andes et au sud de l'équateur géographique. Ces deux régions continentales, mesurées de l'Est à l'Ouest, offrent à peu près la même étendue, et prises ensemble n'occupent pas moins de 80 degrés de longitude, d'où il résulte que près d'un quart de la sphère terrestre est perdu pour l'observation magnétique. Les observations d'inclinaison et d'intensité que j'ai faites moi-même à l'intérieur de l'Amérique méridionale, depuis Cumana jusqu'au Rio-Negro, et depuis Cartagena-de-Indias jusqu'à Quito, n'embrassent que la zone tropicale située au nord de l'équateur géographique; celles que j'ai recueillies dans l'hémisphère du Sud, depuis Quito jusqu'à Lima, se bornent à la contrée voisine de la côte occidentale.

La translation du nœud africain de l'Est à l'Ouest, entre les années 1825 et 1837, est confirmée par les observations d'inclinaison auxquelles s'est livré Panton en 1776, sur le rivage oriental de l'Afrique, comparées avec celles de Rochet d'Héricourt. Rochet d'Héricourt a trouvé l'équateur magnétique beaucoup plus près du détroit de Bab-el-Mandeb, 1 degré au sud de l'île Socotora, par 8° 40′ de latitude boréale. Il ne s'est fait, par conséquent, en 49 ans, qu'un changement de 1° 27′ en latitude, mais à la même époque, Duperrey et Arago avaient évalué à 10° de longitude la translation des nœuds vers l'Ouest. La variation séculaire des nœuds de l'équateur magnétique s'est produite, sur la côte orientale de l'Afrique qui

fait face à la mer des Indes, exactement dans la même direction que sur la côte occidentale; quant à la quantité du mouvement, elle reste encore à déterminer.

On avait déjà signalé les changements périodiques de l'inclinaison, mais c'est depuis douze années seulement, à partir du moment où des stations magnétiques ont été établies dans les deux hémisphères par les soins du gouvernement anglais, que la durée des périodes a été fixée avec certitude. Arago, à qui la théorie du magnétisme est si redevable, avait, il est vrai, reconnu dès l'automne de l'année 1827, que l'inclinaison est plus grande à neuf heures du matin qu'à six heures du soir, tandis que l'intensité, mesurée d'après les oscillations d'une aiguille horizontale, a son maximum à six heures du soir et son minimum à neuf heures du matin (56). Dans les stations magnétiques anglaises, cette question a été résolue, ainsi que le retour périodique des variations horaires de l'inclinaison, à la suite de plusieurs milliers d'expériences régulièrement faites et laborieusement discutées depuis l'année 1840. C'est ici l'occasion de présenter réunis les résultats qui sont devenus les fondements d'une théorie générale du magnétisme terrestre; mais il faut avant tout faire remarquer que si l'on tient à bien connaître les oscillations, appréciables dans l'espace, des trois éléments du magnétisme terrestre, il faut, avec Sabine, distinguer dans les changements de période (turning hours) qui déterminent le maximum et le minimum, les grandes

oscillations, d'où naissent les écarts extrêmes, et les petites oscillations, sortes d'intermédiaires qui le plus souvent ne sont pas moins régulières que les autres. Les mouvements périodiques de l'inclinaison et de la déclinaison, ainsi que les variations dans l'intensité de la force totale, offrent par conséquent des maxima et des minima principaux et des maxima et des minima secondaires, qui ordinairement sont réunis, c'est-à-dire que dans les cas les plus ordinaires, il y a, d'une part, une double progression avec quatre changements de période, de l'autre, une progression simple avec deux changements de période, en d'autres termes, un seul maximum et un seul minimum. C'est ainsi que, à Hobarton, dans la Terre de Diémen, l'intensité de la force totale suit une progression simple, tandis qu'il y a double progression dans l'inclinaison, et que sur un point de l'hémisphère boréal qui répond à la situation de Hobarton, à Toronto, les deux éléments, l'intensité et l'inclinaison, suivent une progression double (57). Il n'y a aussi, au cap de Bonne-Espérance, qu'un seul maximum et un seul minimum de l'inclinaison. Je joins ici le tableau des changements périodiques horaires de l'inclinaison magnétique.

HÉMISPHÈRE DU NORD.

Greenwich — : maximum, 21h (9h du matin); minimum, 3h du soir (voyez Airy, *Observations* in 1845, p. 21; 1846, p. 113; 1847, p. 247). En 1847, la moyenne de l'inclinaison était, à 9h du matin, 68° 59',3; à 3h du soir, 68° 58',6. Si l'on

considère non plus la variation horaire, mais la variation mensuelle, le maximum tombe dans les mois d'avril, de mai et de juin, le minimum en octobre, novembre et décembre.

Paris — : max., 21^h (9^h du matin); min., 6^h du soir. La progression simple de Paris et de Greenwich se reproduit au cap de Bonne-Espérance.

Pétersbourg — : max., 20^h (8^h du matin); min., 10^h du soir. Comme à Paris, à Greenwich et à Péking, la variation de l'inclinaison est moindre dans les mois froids. Le maximum revient plus régulièrement à l'heure indiquée que le minimum.

Toronto (Canada) — : max. principal, 21^h (9^h du matin); min. princ., 4^h du soir; 2e max., 10^h du soir; 2e min., 18^h. (6 du ^{h} matin). Voyez Sabine, *Toronto*, 1840-1842, t. I, p. LXI.

HÉMISPHÈRE DU SUD.

Hobarton (île de Diémen) — : min. princ., 18^h (6^h du matin); max. princ., 23^h 1/2 (11^h 1/2 du matin); 2e min. 5^h du soir : 2e max., 10^h du soir (voyez Sabine, *Hobarton*, t. I, p. LXVII). L'inclinaison est, en été, lorsque le Soleil est dans les signes austraux, de 70° 36′,74; elle est, en hiver, lorsque le soleil s'attarde dans les signes boréaux, de 70° 34′,66. La moyenne annuelle résultant de six années d'observation est de 70° 36′,01. L'intensité est plus grande aussi à Hobarton, du mois d'octobre au mois de février que du mois d'avril au mois d'août. Voyez Sabine, *Hobarton*, t. II, p. XLIV. et XLVI.

Cap de Bonne-Espérance — : progression simple, min., 0^h 34′ (midi 34′) max., 8^h 34′ du soir, avec de très-petites oscillations intermédiaires entre 19^h et 21^h (7^h et 9^h du matin). Voyez Sabine, *Cape Observat.*, 1841-1850, p. LIII.

D'après les résultats relevés dans ce tableau et exprimés en temps de chaque lieu, les maxima des

inclinaisons concordent merveilleusement, sur tout l'hémisphère du Nord : à Toronto, à Paris, à Greenwich, à Pétersbourg; tous tombent le matin entre 8ʰ et 10ʰ. Les minima, quoiqu'il y ait entre eux plus d'écart, se reproduisent toujours l'après-midi ou le soir à 4ʰ 6ʰ et 10ʰ. On a d'autant plus lieu d'être surpris de ce que, dans l'une des cinq années durant lesquelles des observations très-précises ont été recueillies à Greenwich, en 1845, le maximum et le minimum ont été intervertis. La moyenne annuelle de l'inclinaison était, à 9ʰ du matin, 68°56′,8, à 3ʰ du soir, 68° 58′,1.

Si l'on compare les deux stations correspondantes au delà et en deçà de l'équateur, Toronto et Hobarton, on remarque un grand intervalle entre les changements de période du minimum principal de l'inclinaison (4ʰ du soir et 6ʰ du matin); mais il y en a un fort petit au contraire entre les changements de période du principal maximum, (10ʰ et 11ʰ 1/2 du matin.). L'heure du minimum principal, à Hobarton (6ʰ du matin) est celle du minimum secondaire à Toronto. Dans les deux localités, les deux maxima reviennent aux mêmes heures (10ʰ ou 11ʰ 1/2 du matin et 10ʰ du soir). Les quatre changements de période de l'inclinaison sont donc presque exactement les mêmes à Toronto et à Hobarton (4ʰ ou 5ʰ du soir, 10ʰ du soir, 6ʰ et 10ʰ ou 11ʰ 1/2 du matin). Ce jeu compliqué des forces intérieures de la Terre est digne d'une sérieuse attention. Si maintenant l'on compare Hobarton et Toronto, sous le

double rapport des changements de période de l'intensité et de l'inclinaison, on remarque qu'à Hobarton, dans l'hémisphère du Sud, le minimum de l'intensité totale n'est que de deux heures postérieur au minimum principal de l'inclinaison, tandis que l'intervalle des maxima est de six heures, et que, au contraire, à Toronto, dans l'hémisphère du Nord, le minimum de l'intensité précède de 8 heures le maximum principal de l'inclinaison, tandis que le maximum de l'intensité n'est séparé que par deux heures du minimum de l'inclinaison (58).

La périodicité de l'inclinaison au cap de Bonne-Espérance n'est d'accord ni avec celle d'Hobarton situé dans le même hémisphère, ni avec celle d'aucun point de l'hémisphère septentrional. Le minimum de l'inclinaison se produit dans cette contrée à une heure où l'aiguille atteint le maximum à Hobarton.

Pour déterminer la variation séculaire de l'inclinaison, il est nécessaire de disposer d'une longue suite d'observations, toutes également précises. On ne saurait par exemple remonter avec confiance jusqu'aux voyages de circumnavigation de Cook, bien que dans sa dernière expédition, il ait constamment interverti les pôles, parce qu'il y a souvent entre ses évaluations et celles de Bayley, dans la mer du Sud, des différences de 40 à 54 minutes, qui tiennent vraisemblablement à l'imperfection des appareils et à la difficulté avec laquelle se mouvait l'aiguille. Pour Londres, on ne va guère au delà des observations recueillies par Sabine, au mois d'août

1821, observations qui, comparées aux excellentes déterminations faites collectivement, en mai 1838, par James Ross, Sabine et Fox, donnent une diminution annuelle de 2′,73. Lloyd, avec des instruments non moins précis, mais dans un laps de temps plus court, avait trouvé, à Dublin, 2′,38, résultat qui s'accorde fort bien avec le premier (59). A Paris, où la diminution annuelle de l'inclinaison est en décroissance, cette diminution est plus grande encore qu'à Londres. Les méthodes fort ingénieuses, imaginées par Coulomb pour déterminer l'inclinaison, avaient cependant conduit l'auteur à des résultats erronés. La première expérience, faite à l'Observatoire de Paris avec un excellent instrument de Lenoir, date de 1798. Je trouvai alors avec le chevalier Borda, à la suite d'observations plusieurs fois répétées, 69° 51′,0; en 1810, je trouvai avec Arago, 68° 50′,2; en 1826, avec Mathieu, 67° 56′,7; en 1841, Arago trouva 67° 9′,0; en 1851, Laugier et Mauvais ont obtenu 66° 35′, toujours d'après la même méthode et avec des instruments d'une égale précision. Cette période qui dépasse un demi-siècle (1798-1851), donne pour Paris une diminution moyenne annuelle de 3′,69. Les époques intermédiaires fournissent les résultats suivants :

1798-1810. . .	5′,06
1810-1826. . .	3′,37
1826-1841. . .	3′,13
1841-1851. . .	3′,40

Le décroissement de l'inclinaison s'est singulière-

ment ralenti de 1810 à 1826, mais cependant d'une manière progressive. Des observations faites avec le plus grand soin par Gay-Lussac, en 1806, à son retour de Berlin, où il m'avait accompagné en revenant de notre voyage en Italie, avaient donné 69° 12′, ce qui suppose de 1798 à 1806, une diminution annuelle de 4′,87. A mesure que le nœud de l'équateur magnétique se rapproche du méridien de Paris, dans son mouvement séculaire de l'Est à l'Ouest, la diminution semble se ralentir. Cet effet s'est produit, en un demi-siècle, dans la proportion de 5′,08 à 3′,40. Peu de temps avant mon expédition en Sibérie, au mois d'avril 1829, j'ai réuni et comparé, dans un Mémoire présenté à l'Académie de Berlin, les différents points sur lesquels j'ai fait moi-même des observations, toujours, j'ose le dire, avec la même exactitude (60). Sabine a mesuré l'inclinaison et l'intensité à la Havane, 25 ans après moi, ce qui, pour cette contrée tropicale, est déjà un intervalle de temps considérable, et a déterminé la variation de ces deux importants éléments du magnétisme terrestre. Enfin, en 1831, Hansteen a recherché et discuté la variation annuelle de l'inclinaison sur les deux hémisphères, dans un travail digne d'éloges, plus complet que le mien (61).

Tandis que les observations du capitaine Edouard Belcher, 1838, comparées à celles que j'avais recueillies en 1803 (62), révélaient des changements considérables de l'inclinaison, le long des côtes occidentales de l'Amérique, entre Lima, Guayaquil et

Acapulco, et donnaient des résultats d'autant plus précieux qu'elles embrassaient un plus long espace de temps, on reconnaissait que, sur d'autres points de la mer du Sud, ce changement séculaire de l'inclinaison a été d'une surprenante lenteur. A Otahiti, Bayley a trouvé, en 1773, 29° 43'; Fitzroy, en 1835, 30° 14'; Sir Édouard Belcher, en 1840, 30° 17'. En 67 années, par conséquent, la variation annuelle moyenne a été à peine de 0',51 (63). Un observateur fort consciencieux, M. Sawelieff, en parcourant le nord de l'Asie, de Casan aux bords de la mer Caspienne, 22 ans après le séjour que j'ai fait moi-même dans ces contrées, a trouvé l'inclinaison très-inégalement changée au nord et au sud du 50e parallèle (64). Voici le tableau comparatif de ses résultats et des miens :

	Humboldt. 1829.	Sawelieff. 1831.
Casan. . . .	68°36',7	68°30',8
Saratow. . .	64°40',9	64°48',7
Sarepta. . .	62°15',9	62°39',6
Astrakhan .	59°58',3	60°27',9

Pour le cap de Bonne-Espérance, on possède une longue série d'observations, et des observations très-satisfaisantes, si l'on se borne à la période de cinquante années qui s'étend depuis l'expédition de Vancouver, en 1791, jusqu'à celles de sir James Ross et de Dupetit-Thouars, en 1840 (65).

La question de savoir si l'élévation du sol, peut par elle-même, agir d'une manière sensible et certaine

sur l'inclinaison et sur l'intensité magnétiques a été pour moi l'objet d'un examen très-attentif, lorsque j'ai exploré la chaîne des Andes, l'Oural et l'Atlas (66). J'ai fait observer plus haut, en traitant de l'intensité, que malheureusement bien peu de localités se trouvent dans les conditions nécessaires pour fournir un élément sûr à la solution de ce problème. Rarement en effet, la distance des points que l'on compare est assez peu considérable pour ne pas donner prise au soupçon que la différence de l'inclinaison peut provenir, non de l'élévation du sol, mais de la courbure des lignes isodynamiques et isocliniques ou d'une grande différence dans la nature des roches. Je me bornerai donc à indiquer quatre résultats principaux qui, dans les lieux mêmes où je les ai recueillis, m'ont paru démontrer l'influence de la hauteur sur l'inclinaison de l'aiguille aimantée d'une manière plus convaincante que ne le peuvent faire les observations d'intensité.

Silla de Caracas, élevée presque perpendiculairement de 8100 pieds au-dessus des côtes de la Guayra, au sud et à une très-petite distance du rivage, au nord de la ville de Caracas : hauteur 8100 pieds, inclinaison : 41°,90; *la Guayra :* hauteur, 10 pieds, inclinaison, 42°,20; *Caracas :* hauteur sur les bords du Rio-Guayre, 2484 pieds, inclinaison, 42°,95. Voyez Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 612.

Santa Fe de Bogota : haut. 8196 pieds, inclin. 27°,15; Chapelle de Nuestra Señora de Guadalupe, suspendue au-dessus de la ville à un pan de rocher : haut. 10128 pieds, incl. 26°,80.

Popayan : haut. 5466 pieds, inclin. 23°,25; village de Purace sur la pente du volcan : haut. 8136 pieds, inclin. 21°,80;

sommet du volcan de Purace : haut. 13650 pieds, inclin. 20°,30.

Quito : haut. 8 952 pieds, inclin. 14°,85; vallée de San Antonio de Lulumbamba, traversée par l'équateur géographique : haut. 7650 pieds, inclin. 16°,02 (les inclinaisons sont exprimées ici en degrés centésimaux).

J'ose à peine rapporter les observations que j'ai recueillies à l'hospice du Saint-Gothard (hauteur, 6 650 pieds, inclinaison, 66° 12′), et la comparaison que j'en ai faite avec Airolo (haut., 3 502 pieds, inclin., 66° 54′), et avec Altorf (inclin., 66° 55′); non plus que les résultats suivants qui paraissent contredire les premiers : Lans le Bourg (inclin., 66° 9′); hospice du mont Cenis (haut., 6358 pieds, inclin., 66° 22′), et Turin (haut., 707 pieds, inclin., 66° 3′); ou ceux que j'ai recueillis, tant à Naples, à Portici et sur le cratère du Vésuve, qu'en Bohême, sur le sommet du grand Milischarer, formé de phonolithe (inclin. 67° 53′ 5″) que j'ai comparé avec Teplitz (inclin. 67° 19′,5), et avec Prague (inclin. 66° 47′,6). Ces expériences peuvent paraître peu concluantes, en raison des distances relatives et de l'influence des montagnes voisines (67). En 1844, Bravais, Martins et Lepileur, lorsqu'ils faisaient sur l'intensité horizontale des observations publiées depuis avec un grand détail, et comparaient entre elles trente-cinq stations, parmi lesquelles le sommet du Mont-Blanc (14 809p), celui du grand Saint-Bernard (7 848p) et celui du Faulhorn (8 175p), se livrèrent aussi, sur le grand plateau du Mont-Blanc (12 097p) et dans la vallée de Chamounix (3 201p), à des expériences d'inclinaison. Si

la comparaison de ces résultats prouvait en définitive, l'influence de l'élévation du sol sur le décroissement de l'inclinaison magnétique, il y avait pourtant, dans le nombre, des observations, telles que celles de Faulhorn et de Brienz (1 754^{p}) qui montraient l'inclinaison croissant avec la hauteur. Ainsi, ni pour l'intensité horizontale ni pour l'inclinaison, on n'avait obtenu une solution satisfaisante du problème (68). Dans un Mémoire manuscrit de Borda, sur son expédition de 1776 aux îles Canaries, qui est conservé à Paris dans le Dépôt de la Marine, et dont je dois la communication à l'obligeance de l'amiral Rosily, j'ai trouvé la preuve que Borda avait le premier recherché l'influence d'une élévation considérable sur l'inclinaison magnétique. Il a trouvé l'inclinaison plus grande de 1° 15′ sur le pic de Ténériffe que dans le port de Santa-Cruz. Cette différence tenait certainement à l'attraction locale des laves, que j'ai souvent observée sur le Vésuve et sur les volcans de l'Amérique (69).

Afin d'éprouver si, de même que les hauteurs, les profondeurs agissent sur l'inclinaison, j'ai durant mon séjour à Freiberg, au mois de juillet 1828, fait un essai avec tout le soin dont je suis capable, et en intervertissant les pôles à chaque expérience. J'avais choisi le puits du Churprinz, après m'être assuré, par un examen attentif, que la roche formée de gneiss n'exerçait aucune influence sur l'aiguille aimantée. J'étais à 802 pieds au-dessous du sol, et je trouvai que la différence entre l'inclinaison sou-

terraine et celle d'un point situé directement au-dessus, à la surface du sol, ne dépassait pas 2',06. Tel a été cependant le soin apporté à l'expérience que je crois pouvoir conclure des résultats de chaque aiguille, consignés plus loin dans une note (70), que l'inclinaison est plus grande dans le puits du Churprinz qu'à la surface de la montagne. Puisse l'occasion se présenter de renouveler ces expériences dans des mines où l'on se sera convaincu que les roches environnantes ne peuvent avoir aucune action locale, et à des profondeurs suffisantes pour que les résultats soient décisifs; je citerai par exemple, les puits de mines de Valenciana, près de Guanaxuato, dans le Mexique, qui sont creusés à 1 582 pieds au-dessous du sol, les houillères anglaises qui ont plus de 1 800 pieds, et le puits de l'Ane aujourd'hui abandonné, près de Kuttenberg en Bohême, qui pénètre dans la terre à une profondeur de 3 545 pieds (71).

Lors du violent tremblement de terre de Cumana, le 4 novembre 1799, je trouvai l'inclinaison diminuée de 90 minutes centésimales, près d'un degré. Les circonstances dans lesquelles j'ai constaté ce résultat, et dont j'ai donné le détail exact, ne peuvent équitablement laisser soupçonner d'erreur (72). Peu de temps après mon arrivée à Cumana, j'avais constaté que l'inclinaison était de 43°,53 de la division centésimale. Quelques jours avant le tremblement de terre, j'avais vu par hasard exprimée dans un ouvrage espagnol, précieux d'ailleurs, le *Tratado de Navigacion* de

Mendoza (73), cette opinion erronée, que les variations horaires et mensuelles de l'inclinaison étaient plus fortes que celle de la déclinaison, et cela m'avait été l'occasion d'instituer une longue suite d'expériences dans le port de Cumana. Du 1er au 2 novembre, la moyenne de l'inclinaison se maintint constamment à 43°,65. L'instrument, convenablement nivelé, resta dans le même lieu, sans que personne y touchât. Le 7 novembre, trois jours après les grandes secousses, l'instrument nivelé de nouveau donna 42°,75. L'intensité magnétique, mesurée par les oscillations verticales, n'avait pas changé. J'espérais que l'inclinaison reviendrait insensiblement à son premier état; mais elle demeura constamment la même. Au mois de septembre 1800, après que j'eus suivi par eau et par terre le cours de l'Orénoque et du Rio-Negro, sur une étendue de plus de 500 milles géographiques, l'instrument de Borda, qui m'avait accompagné partout, marquait 42°,80; ce résultat était le même qu'avant mon voyage. Comme les mouvements mécaniques et les décharges électriques communiquent la propriété polaire au fer doux, en en changeant l'état moléculaire, on pourrait supposer un lien entre la direction des courants magnétiques et celle des ébranlements terrestres. Mais devenu fort attentif à l'endroit de ces phénomènes, dont je n'avais nulle raison de suspecter la réalité en 1799, je n'ai jamais revu, dans les innombrables tremblements de terre dont j'ai été témoin, pendant un séjour de trois années dans l'Amérique du Sud, un changement soudain de l'in-

clinaison imputable à ces secousses, quelle que fût la direction des ondulations terrestres. Un observateur fort exact et d'un grand savoir, Erman, n'a trouvé non plus, à la suite d'un tremblement de terre sur les bords du lac Baikal (8 mars 1828), aucune perturbation dans la déclinaison magnétique ni dans le cours de ses variations périodiques (74).

DÉCLINAISON.

Le troisième élément du magnétisme terrestre. la déclinaison, est celui dont la connaissance remonte le plus haut. On a vu précédemment les origines historiques de cette découverte. Au XIIe siècle de notre ère, non-seulement les Chinois savaient qu'une aiguille magnétique horizontale, suspendue à un fil de coton, forme un angle avec le méridien géographique, mais ils savaient aussi mesurer l'amplitude de cette déclinaison. Dès l'année 1436, lorsque, grâce aux relations des pilotes chinois avec les Malais et les Hindous, et de ceux-ci avec les Arabes et les Maures, l'usage de la boussole se fut répandu dans le bassin de la Méditerranée, chez les Majorquins et les Catalans, sur la côte occidentale de l'Afrique et dans les hautes régions du Nord, les indications de la *variation* magnétique furent tracées sur les cartes marines, pour différentes parties des mers (75). En 1492, le 13 septembre, Colomb reconnut une ligne sans déclinaison, c'est-à-dire sur laquelle l'aiguille aimantée était dirigée vers le vrai Nord, autrement dit le pôle

de rotation, et dès cette époque il devina que la connaissance de la déclinaison pouvait servir à déterminer les longitudes géographiques. J'ai prouvé ailleurs par le Journal de l'Amiral que, dans le second voyage qu'il entreprit au mois d'avril 1496, lorsqu'il était incertain de la direction de son vaisseau, il chercha à s'orienter par des observations de déclinaison (76). Les variations horaires de la déclinaison furent observées à Louvo dans le royaume de Siam, par Hellibrand et le Père Tachard, mais simplement comme des faits matériels; Graham le premier les étudia, en 1722, avec détail et d'une manière presque satisfaisante. Enfin Celsius les mit à profit pour mesurer en commun et de concert la distance de deux points séparés par une distance considérable (77).

Passant aux phénomènes mêmes de la déclinaison, nous considérerons d'abord les variations qu'y apportent les différentes heures du jour et de la nuit, ainsi que les saisons de l'année, et la moyenne annuelle qui en résulte; de là nous passerons à l'influence qu'exercent sur ces changements les perturbations extraordinaires, bien que périodiques, et la position des lieux au nord ou au sud de l'équateur magnétique; enfin nous étudierons les relations linéaires qui unissent entre eux les points de la surface terrestre sur lesquels la déclinaison est nulle, ou qui ont la même déclinaison. Ces relations linéaires sont, au point de vue de l'application pratique, l'élément le plus utile pour les calculs de bord et pour la navigation en général; mais tous les phénomènes du magnétisme sont si étroite-

ment liés entre eux, y compris les plus mystérieux de tous, les perturbations extraordinaires ou les orages magnétiques qui souvent se produisent simultanément à d'immenses distances, que, pour compléter graduellement la théorie mathématique du magnétisme terrestre, il n'en faut absolument négliger aucun.

Dans les latitudes moyennes de l'hémisphère magnétique boréal, c'est à 8 heures 1/4 du matin (20^h 1/4) que l'extrémité Nord de l'aiguille aimantée est le plus près d'être tournée vers le Nord. De 8 heures 1/4 du matin à 1 heure 3/4 du soir, l'aiguille se meut de l'Est à l'Ouest, jusqu'à ce qu'elle ait atteint son point le plus occidental. Ce mouvement vers l'Ouest est universel pour toutes les contrées de l'hémisphère septentrional, que la déclinaison soit occidentale, comme dans toute l'Europe, à Péking, à Nertschinsk et à Toronto dans le Canada, ou qu'elle soit orientale, comme à Kasan, à Sitka dans l'Amérique russe, à Washington, à Marmato dans la Nouvelle-Grenade, et à Payta sur la côte du Pérou (78). A partir de 1 heure 1/4 et du point le plus occidental, l'aiguille reprend sa marche vers l'Est pendant le soir et une partie de la nuit jusqu'à minuit ou 1 heure du matin (12e ou 13e heure), en faisant souvent une petite pause vers 6 heures du soir. Dans la nuit, l'aiguille rétrograde faiblement vers l'Ouest, jusqu'à ce qu'elle atteigne son minimum d'écartement, en d'autres termes son point d'arrêt oriental de 8 heures 1/4 du matin (20^h 1/4). Autrefois, cette période de la nuit passait complétement inaperçue; on n'avait observé

dans l'intervalle de 1 heure 3/4 à 8 heures 1/4 du matin, qu'un retour progressif et non interrompu de l'Ouest à l'Est. Je me suis beaucoup occupé, à Rome, de ces mouvements presque imperceptibles, en faisant avec Gay-Lussac un travail sur les variations horaires de la déclinaison, avec le télescope magnétique de Prony. Comme l'aiguille est en général plus mobile, tant que le Soleil est au-dessous de l'horizon, il est plus difficile de saisir le faible mouvement nocturne vers l'Ouest. Lorsqu'il se détache clairement, je ne l'ai vu accompagné d'aucune oscillation instable. Contrairement à ce qui se passe lors des orages magnétiques, l'aiguille, en se rapprochant de l'Ouest, procède par bonds, exactement comme dans la période diurne de 8 heures 1/4 à 1 heure 1/4. Il est à remarquer que lorsque l'aiguille, après s'être avancée régulièrement vers l'Ouest, revient vers l'Est ou *vice versâ*, il n'y a nul intervalle entre les deux mouvements, et qu'elle change subitement de direction, surtout dans la période diurne de 8 heures 1/4 à 1 heure 3/4. Généralement, le petit mouvement vers l'Ouest commence après minuit; cependant il a été constaté, à Berlin et dans les mines de Freiberg, ainsi qu'à Greenwich, à Makerstoun en Écosse, à Washington et à Toronto, dès 10 et 11 heures du soir.

A la suite de plusieurs milliers d'observations horaires, les quatre mouvements de l'aiguille que j'ai constatés en 1805 (79) ont été ramenés, dans la belle collection des observations de Greenwich (1845-1847), aux quatre changements de période suivants (80) :

1er minimum d'écartement, 8 heures du matin; 1er maximum, 2 heures du soir; 2e minimum, midi 2 heures; 2e maximum, 2 heures ou 4 heures du soir. Je dois me borner ici à indiquer les états moyens, et à appeler l'attention sur cette circonstance que le minimum principal (8^h du matin) n'est nullement modifié, dans notre zone septentrionale, par le lever plus matinal ou plus tardif du Soleil. En observant avec Oltmanns les variations horaires pendant deux solstices et trois équinoxes, et en prolongeant les expériences à chaque reprise pendant cinq ou six jours de suite et autant de nuits, j'ai trouvé que la plus grande déclinaison orientale était invariablement fixée entre 7 heures 3/4 et 8 heures 1/4 du matin, en été comme en hiver, et que le lever plus matinal du Soleil n'avançait ce moment que d'une manière à peine sensible (81).

Dans les hautes latitudes septentrionales, voisines du cercle polaire, et entre ce cercle et le pôle de rotation, on n'a pas pu jusqu'ici constater d'une manière satisfaisante la régularité de la déclinaison horaire, bien que l'on possède un certain nombre d'observations très-précises. L'action locale des roches et la fréquence des aurores boréales, qui de près ou de loin, troublent la marche de l'aiguille aimantée, ont inspiré des scrupules à M. Lottin, pendant l'expédition scientifique française de *la Lilloise* (1836); il a craint de tirer de ses propres et laborieuses recherches, ainsi que du travail dû au savant Lœwenœrn, qui date de 1786, des consé-

quences formelles sur les changements de période. En général cependant, d'après les observations du missionnaire Genge, le minimum de la déclinaison occidentale tombait à Reikjavik en Islande (lat. 64° 8′) et à Godthaab, sur la côte du Groenland, presque comme dans les latitudes moyennes, vers 9 heures ou 10 heures du matin; mais le maximum ne paraissait se produire qu'à 9 ou 10 heures du soir (82). Plus au Nord, à Hammerfest, dans le Finmark (lat. 70° 40′), Sabine a constaté que l'aiguille marquait assez régulièrement son minimum d'écartement occidental à 9 heures du matin, son maximum occidental à 1 heure 1/2 du soir, comme dans le midi de la Norwége et en Allemagne (83); mais il a trouvé au Spitzberg (lat. 79° 50′) un résultat bien différent : le minimum occidental tombait à 6 heures du matin, le maximum occidental à 7 heures 1/2 du soir. Pour les îles du pôle arctique, nous possédons une belle série d'observations, recueillies pendant 5 mois à Port-Bowen, sur la côte orientale de l'île du Prince-Régent, par les lieutenants Foster et James Ross, durant le troisième voyage du capitaine Parry (1825); mais bien qu'en 24 heures l'aiguille passât deux fois par le méridien, que l'on considérait comme le méridien magnétique moyen du lieu, et que pendant deux mois entiers, avril et mai, on n'ait point vu d'aurore boréale, la durée des élongations principales variaient de 4 à 6 heures, et depuis janvier jusqu'à mai, il n'y avait en moyenne qu'une heure d'intervalle entre les maxima et les minima de la déclinaison occidentale.

Il y eut des jours où l'amplitude de la déclinaison s'éleva de 1° 1/2 jusqu'à 6° ou 7°, tandis que, sous les tropiques, elle atteint à peine le même nombre de minutes (84). La complication qui existe, près du cercle polaire, dans les variations horaires de la déclinaison magnétique se retrouve aussi près de l'Équateur. A Bombay par exemple, par 18° 56′ de latitude boréale, les variations horaires se divisent en deux classes fort différentes, d'avril à octobre et d'octobre à décembre ; chacune de ces classes se subdivise en deux périodes qui sont loin encore d'être fixées (85).

Ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du XV[e] siècle, et grâce aux hardis voyages de Diégo Cam et de Martin Behaim, de Bartholomée Diaz et de Vasco de Gama, que les Européens purent par eux-mêmes acquérir une connaissance faible encore de la direction de l'aiguille aimantée, dans l'hémisphère austral. Mais, dès le III[e] siècle de l'ère chrétienne, les Chinois, ainsi que les habitants de Corée et des îles du Japon, se guidèrent, même sur mer, à l'aide de la boussole. L'importance que, d'après les rapports de leurs plus anciens écrivains, ils attachaient au pôle Sud, était fondée principalement sur cette circonstance que leur navigation était surtout dirigée vers le Sud et le Sud-Ouest. Ils n'avaient pas été sans s'apercevoir, dans ces voyages, que l'extrémité de l'aiguille sur laquelle ils se guidaient n'était pas exactement tournée vers le pôle Sud. Ils avaient même mesuré l'amplitude de la *variation* vers le Sud-Est, et nous

connaissons une de ces déterminations, qui date du XIIe siècle (86). L'application et l'extension de cette ressource si utile aux entreprises maritimes favorisèrent les relations fort anciennes de la Chine avec l'Inde et avec Java, ainsi que les traversées plus lointaines des Malais et leur établissement à Madagascar (87).

Bien qu'à en juger par la situation actuellement très-septentrionale de l'équateur magnétique, il soit vraisemblable que la ville de Louvo, dans le royaume de Siam, était très-voisine de la limite de l'hémisphère magnétique boréal, lorsque, en 1682, le missionnaire Guy Tachard y observait les variations horaires de la déclinaison, il faut cependant reconnaître que ce phénomène ne fut observé avec exactitude dans l'hémisphère magnétique austral que plus d'un siècle plus tard. John Macdonald suivit la marche de l'aiguille aimantée durant les années 1794 et 1795, au fort Marlborough, sur la côte Sud-Ouest de Sumatra et à Sainte-Hélène (88). Les résultats qu'il recueillit attirèrent l'attention des physiciens sur l'amplitude décroissante des variations diurnes dans les basses latitudes. L'élongation ne dépassait pas 3 à 4 minutes. Les expéditions scientifiques de Freycinet et de Duperrey ont permis d'embrasser un nombre de faits plus considérable et de mieux approfondir ces phénomènes; mais on n'a été vraiment mis en possession de données générales et complètes que par l'établissement de stations magnétiques sur trois points importants de l'hémi-

sphère austral, à Hobarton dans la Terre de Van Diémen, à Sainte-Hélène et au cap de Bonne-Espérance, où depuis dix années on observe d'heure en heure et d'après des méthodes uniformes les variations des trois éléments du magnétisme terrestre. L'aiguille aimantée a, dans les latitudes moyennes de l'hémisphère magnétique austral, une marche précisément opposée à celle qu'elle suit dans les zones correspondantes de l'hémisphère boréal. L'extrémité Sud de l'aiguille allant de l'Est à l'Ouest depuis le matin jusqu'à midi, il en résulte évidemment que l'extrémité Nord accomplit un mouvement de l'Ouest à l'Est.

Sabine, à qui nous devons une discussion ingénieuse de toutes ces variations, a rapproché les observations faites d'heure en heure pendant cinq années à Hobarton (lat. austr. 42° 53'; déclin. orient. 9° 57') et à Toronto (lat. bor. 43° 39'; déclin. occid. 1° 33'), de telle façon que l'on distingue nettement les deux périodes du mois d'octobre au mois de février et du mois d'avril au mois d'août. Les mois intermédiaires, mars et septembre, offrent, pour ainsi dire, des phénomènes de transition. A Hobarton, l'extrémité Nord de l'aiguille marque deux maxima d'élongation orientale et deux maxima d'élongation occidentale (89). D'octobre à février, elle se dirige vers l'Est, entre 8 ou 9 heures du matin (20^h ou 21^h) et 2 heures du soir, pour rétrograder un peu vers l'Ouest de 2 heures à 11 heures; de 11 heures du soir à 3 heures du matin (15^h), elle reprend sa marche

vers l'Est et retourne vers l'Ouest de 3 heures à 8 heures du matin (de 15^h à 20^h). Dans la période qui s'étend du mois d'avril au mois d'août, les points de retour orientaux sont retardés jusqu'à 3 heures du soir et 4 heures du matin (16^h); les points de retour occidentaux sont avancés au contraire, et se produisent à 10 heures du matin (22^h) et à 11 heures du soir. Dans l'hémisphère magnétique boréal, le mouvement vers l'Ouest, qui s'opère de 8 heures du matin (20^h) à 1 heure du soir, est plus sensible en été qu'en hiver; dans l'hémisphère austral, où, entre les changements de période indiqués plus haut, les mouvements s'exécutent en sens contraire, on a reconnu que l'amplitude de l'élongation est plus grande, lorsque le Soleil est dans les signes méridionaux que lorsqu'il traverse les signes septentrionaux.

La question que je posais, il y a sept ans, dans le Tableau général de la Nature (90), à savoir s'il existe sur la terre une région, intermédiaire peut-être entre l'équateur terrestre et l'équateur magnétique, où la variation horaire de la déclinaison est nulle, avant que l'extrémité Nord de l'aiguille passe à la direction opposée; cette question paraît devoir être résolue négativement d'après des expériences plus récentes, et surtout d'après les ingénieuses discussions que Sabine a faites des observations recueillies à Singapore (lat. bor. 1° 17′), à Sainte-Hélène (lat. austr. 15° 56′) et au cap de Bonne-Espérance (lat. austr. 33° 56′). On n'a reconnu jusqu'ici aucun point

sans variation horaire de la déclinaison, et les observations assidues des stations magnétiques ont amené cette découverte, aussi importante qu'inattendue, à savoir qu'il y a des lieux, dans l'hémisphère magnétique austral, où les oscillations horaires de la déclinaison participent alternativement aux phénomènes distinctifs des deux hémisphères. L'île Sainte-Hélène est à très peu près située sur la ligne de la plus faible intensité magnétique qui, dans ces parages, s'éloigne considérablement de l'équateur terrestre et de la ligne sans inclinaison. Dans cette île, la marche de l'extrémité Nord de l'aiguille aimantée est exactement opposée, depuis le mois de mai jusqu'au mois de septembre, à celle qu'elle suit, aux mêmes heures, d'octobre à février. D'après cinq années d'observations horaires, c'est à 7 heures du matin que, de mai à septembre qui sont les mois d'hiver de l'hémisphère austral, c'est-à-dire lorsque le Soleil est dans les signes septentrionaux, l'extrémité Nord de l'aiguille marque la plus grande déclinaison orientale. A partir de ce moment, elle reprend sa marche vers l'Ouest jusqu'à 10 heures du matin (22^{h}), comme dans les latitudes moyennes de l'Europe et de l'Amérique du Nord, et reste stationnaire dans cette direction presque jusqu'à 2 heures du soir. Au contraire, durant les mois d'octobre à février, qui sont la saison d'été, alors que le Soleil est dans les signes méridionaux, et le plus près possible de la Terre, la plus grande élongation occidentale a lieu à 8 heures du matin, et est suivie

jusqu'à midi d'un mouvement de l'Ouest à l'Est, exactement comme à Hobarton (lat. austr. 42° 53'), et dans d'autres contrées appartenant aux latitudes moyennes de l'hémisphère austral. A l'époque des équinoxes ou peu de temps après, dans les mois de mars et d'avril, ainsi que dans les mois de septembre et d'octobre, les oscillations de l'aiguille marquent, à certains jours, des périodes de transition, et passent du type de l'hémisphère boréal au type de l'hémisphère austral (91).

Singapore est située un peu au Nord de l'équateur géographique, entre cette ligne et l'équateur magnétique qui, suivant Elliot, coïncide presque avec la courbe de la plus faible intensité. D'après les observations faites à Singapore de deux heures en deux heures, pendant les années 1841 et 1842, Sabine a trouvé que les deux types opposés, dont l'existence a été constatée à Sainte-Hélène, du mois de mai au mois d'août, et du mois de novembre au mois de février, se retrouvent également réunis au cap de Bonne-Espérance, bien qu'il soit situé à 34° de l'équateur terrestre, et plus éloigné encore de l'équateur magnétique, que l'inclinaison de l'aiguille aimantée y soit de 50°, et que le Soleil ne s'y montre jamais au zénith (92). On a publié déjà des observations horaires, recueillies au Cap pendant six années; il en résulte que, sur ce point extrême de l'Afrique, comme à Sainte-Hélène, l'aiguille, parvenue à sa plus grande déclinaison orientale, s'en éloigne à 7 heures 1/2 du matin, et se dirige vers l'Ouest jusqu'à 11 heures 1/2,

depuis le mois de mai jusqu'au mois de septembre, et qu'au contraire, depuis le mois d'octobre jusqu'au mois de mars, elle se dirige vers l'Est de 8 heures 1/2 du matin à 1 heure 1/2 ou 2 heures. La découverte de ce phénomène si bien constaté, mais dont l'origine est encore enveloppée d'épaisses ténèbres, a mis hors de doute l'importance des observations poursuivies sans interruption d'heure en heure. Les perturbations qui, ainsi qu'on le verra bientôt, font si fréquemment dévier l'aiguille aimantée, tantôt vers l'Est tantôt vers l'Ouest, rendraient fort incertaines les expériences isolées du voyageur.

Par suite de l'extension donnée à la navigation et de l'application de la boussole aux relevés géodésiques, on remarqua de très-bonne heure des perturbations extraordinaires dans la direction de l'aiguille aimantée, accompagnées d'oscillations, de tremblements et de frissonnements. On prit l'habitude d'expliquer ce phénomène par un état particulier de l'aiguille, que l'on désigna d'une manière très-caractéristique, dans le langage maritime français, en disant qu'elle était *affolée*. Pour remédier à cet *affolement*, on recommandait de magnétiser l'aiguille de nouveau et plus fortement. Halley est sans contredit le premier qui déclara la lumière polaire un phénomène électrique (93). Invité par la Société Royale de Londres à expliquer le grand météore du 6 mars 1716, visible dans toute l'Angleterre, il répondit que ce météore était analogue à celui que Gassendi avait, le premier, désigné sous le

nom d'*Aurora borealis.* Bien que dans les voyages maritimes qu'il entreprit pour déterminer la ligne sans déclinaison, il se fût avancé jusqu'à 52° de latitude australe, on sait cependant par son propre aveu que, avant 1716, il n'avait jamais vu de lumière polaire, pas plus dans l'hémisphère du Sud que dans celui du Nord; et cependant les aurores australes sont certainement visibles jusque dans la zone tropicale du Pérou. Halley paraît aussi n'avoir rien observé par lui-même de l'instabilité de l'aiguille et des oscillations désordonnées par lesquelles elle passe, sous l'influence des aurores boréales et australes, visibles ou invisibles. Olav Hiorter et Celsius d'Upsala confirmèrent, les premiers, à l'aide d'une longue série de mesures, le rapport soupçonné seulement par Halley, entre l'apparition de la lumière polaire et le trouble apporté à la marche normale de l'aiguille. Cette entreprise méritoire, que Hiorter et Celsius exécutèrent en 1741, avant la mort de Halley, leur donna l'occasion d'instituer, de concert avec Graham, les premières observations simultanées. Les perturbations extraordinaires de la déclinaison magnétique, correspondant à l'apparition de la lumière polaire, furent spécialement approfondies par Wargentin, Canton et Wilke.

En 1805, j'avais eu l'occasion de faire des observations à Rome, sur le mont Pincio, en compagnie de Gay-Lussac; ces observations furent l'objet d'un long travail auquel, de retour à Berlin, je me livrai avec Oitmanns, durant les équinoxes et les

solstices des années 1806 et 1807, dans un vaste jardin situé à l'écart, avec le télescope magnétique de Prony et un point de repère placé à distance et bien éclairé par une lampe. J'appris ainsi que la partie de l'activité magnétique de la Terre, désignée sous le nom général de perturbations magnétiques extraordinaires, qui agit si puissamment à certaines époques, et n'exerce point seulement une influence locale, mérite une attention soutenue, en raison de sa complication. Le mécanisme du repère et des fils croisés dans le télescope, suspendu tantôt à un fil de soie, tantôt à un fil de métal, et enfermé dans une cage de verre, permettait de lire des arcs de 8 secondes. Comme, d'après cette méthode d'observation, la pièce, dans laquelle se trouvait le télescope, dirigé par une barre de fer aimantée, devait rester obscure, on n'avait pas à craindre le courant d'air que peut occasionner l'illumination de l'échelle dans des déclinatoires à microscope, qui sont d'ailleurs excellents. Convaincus de ce que j'avais dit, qu'une série non interrompue d'observations, faites d'heure en heure ou de demi-heure en demi-heure, pendant un nombre égal de jours et de nuits (*observatio perpetua*), est de beaucoup préférable à des observations recueillies sans suite pendant plusieurs mois, nous fîmes, aux époques des équinoxes et des solstices, dont tous les travaux récents ont constaté l'importance, des observations consécutives, prolongées nuit et jour pendant 5, 7 et 11 jours (94). Nous reconnûmes bientôt que, pour étudier le véritable caractère physique de ces pertur-

bations annuelles, il ne suffisait pas d'en déterminer l'amplitude, mais qu'il fallait, à chaque observation, joindre en chiffre le degré de l'instabilité de l'aiguille, en mesurant l'écartement des oscillations. Lorsque l'aiguille suivait régulièrement sa marche horaire, elle était si peu agitée que, sur 1500 résultats tirés de 6000 observations, depuis le milieu de mai 1806 jusqu'à la fin de juin 1807, l'oscillation ne comprenait le plus souvent qu'une demi-division, c'est-à-dire 1′ 12″. Dans quelques cas particuliers, et souvent par un temps très-orageux, l'aiguille paraissait complétement stationnaire, ou n'oscillait que de 24 à 28″; mais lorsqu'éclatait l'orage magnétique, dont la lumière polaire est la seconde et la plus forte manifestation, les oscillations étaient tantôt de 14′ tantôt de 18′, et ne duraient jamais plus de 1 seconde 1/2 à 3 secondes. Souvent l'amplitude et l'inégalité des oscillations qui dépassaient de beaucoup les divisions du signal, soit d'un seul côté, soit des deux côtés, rendaient toute observation impossible (95). C'est ce qui par exemple, arriva sans interruption dans la nuit du 24 septembre 1806, depuis 2 heures 40 minutes jusqu'à 3 heures 32 minutes du matin, et de 3 heures 57 minutes à 5 heures 4 minutes.

Ordinairement, dans les violents orages magnétiques (*unusual or larger magnetic Disturbances, magnetic Storms*), la moyenne des arcs de cercle parcourus par les oscillations de l'aiguille grandissait d'un côté ou de l'autre, quoique avec une vitesse inégale;

mais dans des cas peu fréquents, on remarqua aussi des oscillations extraordinaires, sans que la déclinaison en fût augmentée ou diminuée irrégulièrement, c'est-à-dire sans que la moyenne des oscillations s'éloignât de la division du repère qui appartenait en ce moment à la marche normale de l'aiguille. Nous avons vu succéder à un long repos relatif des mouvements soudains, de force très-inégale, décrivant des arcs de 6′ à 15′, et qui se répondaient alternativement, ou se confondaient les uns avec les autres. Ce qu'il y eut de plus surprenant, ce fut de voir la nuit un mélange de repos absolus et d'oscillations violentes, sans que l'aiguille avançât d'aucun côté (96). Je crois aussi devoir mentionner, bien qu'il soit fort rare, un autre mouvement, espèce de mouvement de bascule, qui se produit en sens vertical, et modifie l'inclinaison de l'aiguille pendant 15 ou 20 minutes, tandis que les oscillations horizontales s'exécutent très-modérément ou font même complétement défaut. Parmi toutes les circonstances particulières, consignées si attentivement dans les registres des stations anglaises, je trouve ce mouvement vertical (*constant vertical motion, the needle oscillating vertically*) signalé trois fois seulement pour l'île de Diémen (97).

D'après les observations de Berlin, c'est à 3 heures du matin en moyenne que m'ont paru se produire les grands orages magnétiques; ils cessaient en moyenne aussi, vers 5 heures. Nous observâmes souvent de petits orages magnétiques de 5 heures

à 7 heures du soir, dans les mêmes jours du mois de septembre où devaient éclater, 8 ou 10 heures après, de si violents orages que l'amplitude et la rapidité des oscillations ne permettaient pas de lire ni d'apprécier la moyenne des élongations. Dès le commencement, je fus si convaincu que les orages magnétiques devaient se produire par groupe, pendant plusieurs nuits de suite, que j'annonçai à l'Académie de Berlin les particularités de ces perturbations extraordinaires, et que j'invitai mes amis à me venir voir, à heure fixe, pour se donner le plaisir de ce spectacle (98). Kupffer, pendant son voyage au Caucase, en 1829, et plus tard Kreil, à la suite des précieuses observations qu'il fit à Prague, ont constaté, comme moi, le retour périodique des orages magnétiques à des heures déterminées (99).

L'hypothèse que j'avais pu exprimer seulement d'une manière générale, lors des observations que j'avais faites durant les équinoxes et les solstices de l'année 1806, est devenue, depuis l'établissement des stations magnétiques dans les possessions anglaises (1838-1840), et grâce aux riches matériaux si heureusement mis en œuvre par le colonel Sabine, l'une des découvertes les plus importantes de la théorie du magnétisme terrestre. Sabine a comparé tous les résultats recueillis dans les deux hémisphères, et classé les perturbations d'après les saisons, les heures du jour et de la nuit, et d'après les déviations orientales ou occidentales. A Toronto et à Hobarton, les perturbations ont été deux fois plus fréquentes et

plus fortes la nuit que le jour (100); les premières observations faites à Berlin avaient donné le même résultat. Le contraire résulte des recherches approfondies auxquelles s'est livré le capitaine Younghusband sur 2 600 ou 3 000 perturbations, observées au cap de Bonne-Espérance et surtout à l'île Sainte-Hélène. A Toronto, les principales perturbations se sont produites en moyenne de minuit à 5 heures du matin; quelques-unes seulement ont été observées plus tôt, entre 10 heures du soir et minuit. Il y a par conséquent, à Toronto comme à Hobarton, prédominance de perturbations nocturnes. D'après la longue et ingénieuse épreuve à laquelle Sabine a soumis 3 940 perturbations observées à Toronto et 3 470 phénomènes de même nature observés à Hobarton durant les six années de 1843 à 1848, et qui représentaient la neuvième et la dixième partie de toutes les observations de déclinaison, il a pu tirer cette conséquence que les perturbations forment une classe particulière de variations périodiques, soumises à des lois susceptibles d'être constatées, et qui dépendent de la position du Soleil dans l'écliptique et de la rotation de la Terre; que ces mouvements ne doivent plus par conséquent être appelés irréguliers, et qu'il y a lieu de reconnaître dans ces phénomènes, avec un caractère local particulier, des effets généraux, affectant tout l'ensemble du corps terrestre (1). Dans les mêmes années où les perturbations furent plus fréquentes à Toronto que d'ordinaire, il en fut de même et presque dans la même

mesure à Hobarton. Elles furent deux fois plus nombreuses à Hobarton dans les mois d'été, d'avril à septembre, que dans les mois d'hiver, d'octobre à mars; mais de tous les mois, le plus fécond fut le mois de septembre. C'est aussi le résultat des observations que je fis à Berlin, en 1806, dans l'équinoxe d'automne (2). Partout elles sont plus rares en hiver, c'est à-dire du mois de novembre au mois de février, pour Toronto; du mois de mai au mois d'août, pour Hobarton. A Sainte-Hélène et au cap de Bonne-Espérance, les passages du Soleil à travers l'équateur sont signalés par une grande abondance de perturbations.

Le fait capital, dont la découverte est due aussi à Sabine, c'est la régularité avec laquelle, dans les deux hémisphères, les perturbations augmentent la déclinaison orientale ou occidentale. A Toronto où la déclinaison occidentale est faible et ne dépasse pas 1° 33′, le nombre des perturbations qui faisaient, pendant l'été, c'est-à-dire du mois de juin au mois de septembre, décliner l'aiguille vers l'Est, était supérieur à celui des perturbations qui produisaient un mouvement vers l'Ouest, en hiver, c'est-à-dire du mois de décembre à avril; le rapport était de 411 à 290. On remarque la même chose dans l'île de Van-Diemen, en tenant compte des saisons locales. Les orages magnétiques y sont aussi beaucoup plus rares pendant l'hiver, qui s'étend du mois de mai au mois d'août (3). Le dépouillement de six années d'expériences, dans les deux stations opposées de To-

ronto et d'Hobarton, avait conduit Sabine à ce remarquable résultat que non-seulement le nombre des perturbations avait été croissant, dans les deux hémisphères, de 1843 à 1848, mais que, si, pour obtenir la moyenne annuelle normale de la déclinaison diurne, on ne faisait pas entrer en ligne de compte une série de 3 469 orages, la déclinaison totale s'était élevée insensiblement, pendant cinq années, de 7',65 à 10',58 ; enfin que la même augmentation se faisait sentir dans l'inclinaison et dans l'intensité de la force terrestre. Ce résultat acquit une importance considérable, lorsqu'il fut généralisé et confirmé par le remarquable travail que publia Lamont, en 1851, sur une période de 10 années dans le mouvement diurne de l'aiguille magnétique. D'après des observations faites à Gœttingue, à Munich et à Kremsmünster, l'amplitude moyenne de la déclinaison diurne avait atteint son minimum de 1843 à 1844, son maximum de 1848 à 1849 (4). Après que la déclinaison a augmenté ainsi pendant cinq années, elle diminue le même laps de temps, ainsi que le prouve une série d'observations horaires fort exactes, qui remontent jusqu'à un maximum tombant au milieu de 1787 (5). Afin d'expliquer par une cause générale cette périodicité commune aux trois éléments du magnétisme terrestre, on est tenté de recourir à la connexité des phénomènes cosmologiques. Cette connexité, elle nous est fournie, suivant la conjecture de Sabine, par les changements qui se produisent dans la photosphère du Soleil,

c'est-à-dire dans l'enveloppe gazeuse et brillante du corps solaire opaque (6). D'après les recherches poursuivies par Schwabe durant de longues années, les périodes de la plus grande et de la plus petite fréquence des taches solaires concordent parfaitement avec celles des variations magnétiques. Sabine a, pour la première fois, signalé cette coïncidence dans un Mémoire présenté en 1852 à la Société Royale de Londres. Il n'y a nul doute, dit Schwabe, dans un travail dont il m'a permis d'enrichir par avance la partie astronomique du *Cosmos*, que, du moins, pour l'époque comprise entre 1826 et 1850, les variations dans le nombre des taches solaires se reproduisent par période de dix ans environ, de sorte que le maximum tombe dans les années 1828, 1837, 1848, le minimum en 1833 et 1843 (7). Sabine a fortifié aussi cette hypothèse de l'influence solaire sur le magnétisme terrestre, par cette remarque ingénieuse, que le moment où, dans les deux hémisphères, l'intensité de la force magnétique est le plus considérable, et celui où la direction de l'aiguille se rapproche le plus de la verticale, tombe entre les mois d'octobre et de février, à l'époque où la Terre est le plus proche du Soleil et où sa révolution est le plus rapide (8).

J'ai signalé déjà dans le Tableau général de la Nature (9) la simultanéité de nombreux orages magnétiques, et j'ai dit comment les mêmes orages se propagent à des distances de plusieurs milliers de lieues et parcourent tout le sphéroïde terrestre, ainsi que

cela arriva le 25 septembre 1841, où un orage magnétique fut observé au Canada, en Bohême, au cap de Bonne-Espérance, dans la Terre de Diémen et à Macao. J'ai cité aussi des exemples de perturbations plus locales, telles que celle qui, de la Sicile, s'étendit jusqu'à Upsala, mais ne franchit pas cette limite, et ne se fit sentir ni à Alten ni dans la Laponie. Lors des observations simultanées de déclinaison qu'Arago et moi nous combinâmes, en 1829, à Berlin, à Paris, à Freiberg, à Saint-Pétersbourg, à Kasan et à Nicolaïeff, avec des instruments uniformes de Gambey, quelques fortes perturbations ne purent se propager de Berlin jusqu'à Paris, ni même jusque dans un puits de Freiberg, où Reich faisait ses observations sur le magnétisme souterrain. Des déclinaisons et des oscillations considérables de l'aiguille qui accompagnèrent, à Toronto, des aurores boréales, coïncidèrent avec des orages magnétiques qui éclatèrent dans les îles Kerguèles de l'hémisphère austral, mais ne furent pas sensibles à Hobarton. D'après la propriété de pénétration que la force magnétique, comme la gravitation, montre à travers toute espèce de substances, il est certainement difficile de se faire une idée claire des obstacles qui s'opposent à sa propagation dans l'intérieur de la terre, obstacles analogues à ceux qui arrêtent les ondes sonores et les ondes d'ébranlement, et qui font que, dans les tremblements de terre, des lieux voisins les uns des autres ne ressentent jamais les mêmes secousses (10). Serait-ce que des lignes magnétiques, dirigées en

différents sens, interceptent par leur croisement la propagation de la force magnétique?

J'ai décrit les mouvements réguliers et les mouvements en apparence irréguliers qu'exécute une aiguille suspendue horizontalement. Lorsque, en observant la marche normale de l'aiguille qui revient sur elle-même, et en composant une moyenne avec les extrêmes des variations horaires, on a déterminé la direction du méridien magnétique, sur lequel, d'un solstice à l'autre, la déclinaison orientale égale en somme la déclinaison occidentale, il est naturel de comparer les angles que forme, sur différents parallèles, l'intersection des méridiens magnétiques avec le méridien géographique; et de là résultent deux choses : on est conduit d'abord à la connaissance des lignes de *variations* qu'Andréa Bianco, en 1436, et le cosmographe de l'empereur Charles-Quint, Alonso de Santa-Cruz, cherchaient déjà à représenter graphiquement, puis à l'heureuse tentative de généraliser les courbes isogoniques ou lignes d'égale déclinaison, auxquelles les marins anglais donnèrent longtemps, par un juste sentiment de reconnaissance, le nom historique de *Halleyan lines*. Parmi ces courbes isogoniques diversement contournées, quelquefois presque parallèles, plus rarement revenant sur elles-mêmes et composant des systèmes fermés de forme ovale, les plus intéressantes, au point de vue de la physique du globe, sont les lignes sans déclinaison, au delà et en deçà desquelles les déclinaisons se produisent en sens opposé et augmentent inégalement avec les

distances (11). J'ai fait voir ailleurs comment la première découverte d'une ligne sans déclinaison, faite par Colomb, dans l'Océan Atlantique, le 13 septembre 1492, avait donné une impulsion puissante à l'étude du magnétisme terrestre, qui, pendant deux siècles et demi, n'avait semblé destiné qu'à perfectionner les calculs nautiques.

Quelqu'accroissement qu'ait reçu de nos jours la connaissance partielle des lignes sans *variation* dans le nord de l'Asie, dans l'archipel Indien et l'Océan Atlantique, grâce à un plus haut degré d'instruction scientifique chez les marins et au perfectionnement des instruments et des méthodes, il y a lieu cependant de regretter, dans cette branche de la science où l'on sent le besoin de vues cosmologiques, la lenteur des progrès et l'absence de résultats généraux. On doit, je ne l'ignore pas, au hasard, qui faisait que des bâtiments traversaient les lignes sans déclinaison, un nombre immense d'observations consignées sur les Journaux de bord; ce qui manque, c'est le rapprochement et la comparaison des matériaux. Ces matériaux ne pourront réellement acquérir l'importance qu'ils doivent avoir pour la connaissance même des lignes sans déclinaison et pour déterminer la situation actuelle de l'équateur magnétique, tant que l'on n'enverra pas dans les différentes mers des vaisseaux chargés uniquement de suivre ces lignes sans interruption. Ce n'est que grâce à la simultanéité des observations que le magnétisme terrestre peut avoir pour nous une histoire;

en disant ceci, je répète un cri que j'ai déjà fait entendre bien des fois (12).

D'après ce que nous savons jusqu'à ce jour sur la position des lignes sans déclinaison, il existe vraisemblablement, à la place des quatre lignes méridiennes que l'on supposait joindre les pôles, vers la fin du XVIe siècle (13), trois systèmes très-diversement conformés, si toutefois l'on peut appeler systèmes ces groupes de lignes isogoniques, enfermant une ligne sans déclinaison qui n'est unie directement avec aucune autre ligne de même espèce, et ne peut, dans l'état actuel de nos connaissances, en être considérée comme le prolongement. De ces trois systèmes que nous décrirons bientôt séparément, le système intermédiaire ou système atlantique est borné à une simple ligne sans déclinaison qui s'étend dans la direction du Sud-Sud-Est au Nord-Nord-Ouest, entre 65° de latitude australe et 67° de latitude boréale. Le second, plus rapproché de l'Est de 150 degrés, à ne considérer que les points d'intersection des deux systèmes avec l'équateur géographique, remplit toute l'Asie et toute l'Australie. Il est de tous le plus vaste et le plus compliqué; il monte et redescend d'une manière singulière, présentant une pointe au nord et une autre au midi. A l'extrémité Nord-Est, sa courbure est telle que la ligne zéro, revenant sur elle-même en forme d'ellipse, enferme des lignes dont la déclinaison augmente dans une proportion rapide du dehors au dedans. La partie la plus occidentale et la partie la plus orientale de cette courbe

sont, comme la ligne zéro de l'Océan Atlantique, dirigées du Sud au Nord; elles s'inclinent du Sud-Sud-Est au Nord-Nord-Ouest, dans l'espace qui s'étend de la mer Caspienne à la Laponie. Le troisième système, celui de la mer du Sud, est le moins exploré et le plus petit des trois. Situé presque en entier au sud de l'équateur géographique, il forme un ovale fermé, composé de lignes concentriques sur lesquelles la déclinaison, contrairement à ce que l'on a remarqué pour la partie Nord-Est du système asiatique, diminue du dehors au dedans. On ne connaît en Afrique que des lignes dont la déclinaison occidentale varie de 6° à 29° (14); il est vrai que les expériences n'ont porté jusqu'ici que sur les côtes. On sait du moins par Purchas que la ligne atlantique sans déclinaison a délaissé depuis l'année 1605 le cap de Bonne-Espérance, pour se retirer dans la direction de l'Est à l'Ouest. Existe-t-il dans l'Afrique centrale un autre groupe ovale, formé de lignes concentriques sur lesquelles la déclinaison diminue jusqu'à 0°, on n'a pas plus de raisons pour l'affirmer que pour le nier.

La partie atlantique de la courbe américaine sans déclinaison a été déterminée par le colonel Sabine, qui a retracé avec une exactitude merveilleuse l'état de la déclinaison magnétique dans les deux hémisphères pour l'année 1840, d'après un ensemble de 1480 observations, et en ayant égard aux variations séculaires. Cette ligne qui a été trouvée environ par 70° de latitude australe et 21° de longitude occiden-

tale (15), court vers le Nord-Nord-Ouest, passe 3 degrés à l'est de l'archipel Sandwich, 9 degrés 1/2 à l'est de la Georgie méridionale, s'approche des côtes du Brésil, dans lequel elle entre par le cap Frio, laisse Rio-Janeiro à 2 degrés vers l'Ouest, traverse le nouveau continent jusqu'à 0° 36′ de latitude australe, le quitte un peu à l'est de Para près du cap Tigioca, et du Rio-Para, l'une des bouches de la rivière des Amazones, pour couper une première fois l'équateur géographique, par 50° 6′ de longitude occidentale. De là, elle suit les côtes de la Guyane, à une distance de 22 milles géographiques, jusqu'à 5° de latitude boréale, longe l'arc décrit par les petites Antilles jusqu'au 18e parallèle, pour aller toucher le littoral de la Caroline du Nord, près du cap Lookout, au sud-ouest du cap Hattaras, par 34° 50′ de latitude et 76° 30′ de longitude. A l'intérieur de l'Amérique du Nord, la ligne sans déclinaison continue sa course vers le Nord-Ouest jusqu'à Pittsbourgh, Meadville et le lac Érie, par 41° 30′ de latitude et 80° de longitude; il est à supposer que depuis 1840 elle a déjà avancé vers l'Ouest d'un demi degré environ.

La courbe sans déclinaison que l'on peut appeler australo-caspienne, si l'on considère, avec Erman, la ligne qui remonte subitement de Kasan à Archangel et à la Laponie russe comme le prolongement de celle qui traverse la mer des Molukkes et du Japon, ne saurait être suivie tout au plus dans l'hémisphère austral que jusqu'au 62e parallèle. La partie méridio-

nale de cette ligne est située plus à l'ouest de la Terre de Diémen qu'on ne l'avait supposé d'abord, et les trois points sur lesquels sir James Ross, dans son voyage de découverte au pôle antarctique (1840 et 1841), a coupé la ligne sans déclinaison (16), se trouvent tous sur 62°, 54° 30′ et 46° de latitude, entre 131° et 133° 20′ de longitude orientale. La plus grande partie de la ligne suit donc la direction méridienne du Sud au Nord. Dans son vaste développement, cette courbe traverse la partie occidentale de l'Australie, du Nord au Sud, depuis la côte méridionale du pays de Nuyts, dix degrés environ à l'ouest de l'île Adélaïde, jusqu'auprès du fleuve Van Sittart et du mont Cockburn, pour de là entrer dans la mer de l'archipel indien, dans des parages où l'inclinaison, la déclinaison et l'intensité totale, ainsi que le maximum et le minimum de l'intensité horizontale, ont été observés par le capitaine Elliot, de 1846 à 1848, plus exactement qu'ils ne l'ont été nulle part ailleurs. La ligne continue ensuite sa course droit vers l'Est, depuis 118° jusqu'à 91° de longitude occidentale, en passant au sud de Flores, et en traversant la petite île Sandalwood (17). Barlow, seize ans auparavant, avait déjà très-exactement indiqué cette direction. A partir de 91° de longitude occidentale, la courbe australo-asiatique remonte vers le Nord-Ouest jusqu'à 9°,70′ de latitude australe, à en juger par la situation de la ligne marquant 1° de déclinaison orientale, qu'Elliot a suivie jusqu'à Madras. La ligne sans déclinaison, dont nous traçons le cours, coupe-t-elle l'équateur

vers le méridien de Ceylan, et entre-t-elle dans le continent asiatique entre le golfe de Cambay et Guzurate, ou plus à l'Ouest, par le golfe de Mascate(18), et est-elle ainsi identique avec la courbe sans déclinaison qui, partant du bassin de la mer Caspienne, semble courir vers le Sud (19); ou plutôt, ainsi que le veut Erman, fléchissant à l'Est, avant de couper l'équateur, et remontant vers le Nord, entre Borneo et Malacca, traverse-t-elle la mer du Japon, et pénètre-t-elle dans l'Asie orientale par le golfe d'Okhotsk (20), c'est sur quoi il est impossible de se prononcer. Il est vivement à regretter que les fréquentes communications que la navigation européenne entretient avec les Indes, l'Australie, les îles Philippines et les côtes Nord-Est de l'Asie demeurent sans fruit pour la science, et que d'innombrables matériaux qui devraient servir à généraliser les vues sur l'ensemble du globe, en rattachant l'Asie méridionale aux contrées mieux explorées de l'Asie septentrionale, restent inutilement enfouis dans les Journaux de bord; ainsi des questions pendantes depuis 1840 sont encore sans solution. Pour ne pas mêler le certain avec l'incertain, je me borne à la partie sibérienne du continent asiatique, qui nous est connue jusqu'au 45° parallèle, par les travaux de Erman, de Hansteen, de Due, de Kupffer, de Fuss et par mes propres observations. Dans aucune autre partie du globe, on n'a pu suivre sur terre un aussi long développement des lignes magnétiques. L'importance que présente, à ce point de vue, l'immense étendue de la Russie en

Europe et en Asie avait été pressentie déjà par le génie de Leibnitz (21).

Afin de suivre de l'Ouest à l'Est la direction des expéditions européennes en Sibérie, nous commencerons par la partie septentrionale de la mer Caspienne; et d'abord nous trouvons que dans la petite île Birutschikessa, à Astrakan, sur le lac Elton, dans la steppe des Kirghises et à Ouralsk sur le Jaik, entre 45°43′ et 51°12′ de latitude, 44°15′ et 49°2′ de longitude, l'aiguille oscille de 0°10′ de déclinaison orientale à 0°37′ de déclinaison occidentale (22). Plus au Nord, la courbe sans déclinaison incline un peu plus vers le Nord-Ouest, et passe aux environs de Nishney-Nowogorod (23). En 1828, elle passait entre Osablikowo et Doskino, par 56° de latitude 40°40′ de longitude. Elle se dirige ensuite vers la Laponie russe, et passe entre Archangel et Kola, ou plus exactement, d'après Hansteen (1830), entre Umba et Ponoi (24). Ce n'est qu'après avoir parcouru près des deux tiers de l'Asie septentrionale, entre le 50e et le 60e parallèle, c'est-à-dire à l'endroit de sa plus grande largeur, et avoir traversé un espace dans lequel aujourd'hui la déclinaison est décidément orientale, que l'on rejoint la ligne sans déclinaison, qui, passant près de la partie Nord-Est du lac Baikal, à l'ouest de Wilouisk, et, remontant vers le Nord, atteint un point situé sur le méridien d'Iakoutsk (127°30′) et sur le 68e parallèle, pour former là l'enveloppe extérieure du groupe ovalaire, composé de lignes de déclinaison concentriques, dont il a été sou-

vent question. Enfin cette courbe redescend vers Okhotsk, par 140°50′ de longitude, coupe l'arc des îles Kouriles, et, continuant sa course vers le Sud, pénètre dans la mer du Japon. Les courbes de 5° à 15° de déclinaison orientale, qui remplissent l'espace compris entre la partie occidentale et la partie orientale de la ligne asiatique sans déclinaison, ont tous une sommité concave tournée vers le Nord. Le maximum de leur courbure, tombe, d'après Erman, par 77° 40′ de longitude, dans un méridien à peu près intermédiaire entre Omsk et Tomsk, et très-voisin de celui qui traverse l'extrémité méridionale de l'Hindoustan. Ce groupe, replié sur lui-même en ovale fermé, s'étend, dans son axe longitudinal, sur un espace de 28 degrés de latitude, jusqu'à la presqu'île de Corée.

Une configuration analogue, mais avec des dimensions plus considérables encore, existe dans la mer du Sud. Les lignes isogoniques, revenant sur elles-mêmes, y forment un ovale compris entre 20° de latitude australe et 42° de latitude boréale, dont l'axe principal est situé par 132° 20′ de longitude. Ce qui distingue surtout ce singulier groupe, dont la plus grande partie appartient à l'hémisphère du Sud et seulement à la partie océanique, du groupe de l'Asie orientale, c'est l'ordre dans lequel se succèdent les courbes de déclinaison qui le composent. Dans le premier groupe, la déclinaison est orientale, et diminue à mesure que l'on pénètre à l'intérieur de l'ovale; dans le second, la déclinaison occidentale va en augmentant du de-

hors au dedans. Il n'existe toutefois, à l'intérieur du groupe austral, que des déclinaisons comprises entre 8° et 5°. Serait-ce qu'après avoir traversé un anneau de déclinaison orientale, on retrouverait plus loin au delà de la ligne zéro, la déclinaison occidentale?

Les courbes sans déclinaison, comme toutes les lignes magnétiques, ont leur histoire. Malheureusement, cette histoire ne peut remonter au-delà de deux cents ans. On en retrouve cependant quelques traces jusque dans le xve et le xive siècle. C'est à Hansteen que l'on doit encore d'avoir rassemblé et comparé ces documents, avec sa pénétration ordinaire. Il paraît que le pôle Nord magnétique se meut de l'Ouest à l'Est, le pôle Sud de l'Est à l'Ouest; mais des observations exactes démontrent que les différentes parties des courbes isogoniques se déplacent d'une manière très-irrégulière, que ces lignes, aux endroits où elles étaient parallèles, s'écartent du parallélisme, et que les contrées dans lesquelles régnait exclusivement l'une des deux déclinaisons s'agrandissent ou se resserrent dans des directions très-diverses. Les lignes sans déclinaison de l'Asie occidentale et de l'Océan Atlantique s'avancent de l'Est à l'Ouest. La première de ces lignes passait par Tobolsk vers 1716; en 1761, du temps de Chappe, elle traversait Katherinenburg; plus tard, elle a coupé Kasan; enfin, en 1829, elle passait entre Osablikowo et Doskino, à peu de distance de Nishnei-Nowogorod. Ainsi en 113 ans, elle s'est avancée vers l'Ouest de 24° 45'. Si la ligne des Açores, que Christophe Colomb déterminait le 13 sep-

tembre 1492, est la même qui, en 1607, d'après les observations de Davis et de Keeling, traversait le cap de Bonne-Espérance (25), la même que nous voyons aujourd'hui se diriger de l'embouchure du fleuve des Amazones vers le littoral de la Caroline du Nord, on se demande ce qu'est devenue la ligne sans déclinaison qui passait par Kœnigsberg en 1600, par Copenhague probablement en 1620, par Londres de 1657 à 1662, qui, en 1666, inclinait plus à l'Est et coupait Paris, qui, enfin, traversait Lisbonne un peu avant 1668 (26). Ce que l'on doit voir avec surprise, ce sont justement les points de la Terre où, pendant de longues périodes de temps, on n'a pu remarquer aucun changement séculaire. Sir John Herschell a appelé déjà l'attention sur la longue fixité de la boussole à la Jamaïque (27); Euler (28) et Barlow (29) ont signalé la même constance de phénomènes dans l'Australie méridionale.

LUMIÈRE POLAIRE.

Nous avons traité en détail des trois modes principaux par lesquels se manifeste le magnétisme terrestre : intensité, inclinaison et déclinaison, et nous avons étudié les variations, dépendantes de la situation géographique, que ces trois modes éprouvent suivant les saisons et les heures. Les perturbations extraordinaires, dont les effets se révélèrent pour la première fois dans les changements de la déclinaison, annoncent en partie, en partie accompa-

gnent la lumière polaire magnétique, ainsi que l'avait pressenti Halley, que l'ont constaté Du Fay et Hiorter. J'ai décrit assez longuement, dans le Tableau général de la Nature, les phénomènes, si éclatants d'ordinaire, qui accompagnent la production de la lumière terrestre, et des observations plus récentes sont venues en général confirmer les vues que j'exposais à cette époque. « L'aurore boréale ne doit pas être considérée comme la cause de la perturbation qui trouble l'équilibre du magnétisme terrestre, mais comme le résultat de l'activité du globe, exaltée jusqu'à la production de phénomènes lumineux, et qui se manifeste, d'un côté, par cette illumination polaire de la voûte céleste, de l'autre, par les oscillations désordonnées de l'aiguille aimantée. » On voit, d'après cela, que la lumière polaire est une sorte de décharge sans détonation, l'acte qui met fin à l'orage magnétique, de même que, dans les orages électriques, l'équilibre détruit se rétablit par un autre phénomène lumineux, l'éclair accompagné de tonnerre. Il ne faut pas craindre, à propos d'une apparition aussi complexe et aussi mystérieuse, de répéter une hypothèse nettement formulée (30); les efforts mêmes que l'on fera pour la contredire ne peuvent que tourner au profit de l'observation, qui deviendra ainsi plus scrupuleuse et plus assidue.

En commençant la description purement objective de ces phénomènes, pour lesquels je mettrai surtout à profit la belle série d'observations, poursuivies sans interruption pendant huit mois (1838-1839), par des

physiciens distingués, à l'extrémité septentrionale de la Scandinavie (31), nous considérerons d'abord le voile nébuleux, qui s'élève graduellement à l'horizon, et que l'on nomme le segment obscur de l'aurore boréale (32). Ainsi que l'a remarqué Argelander, la couleur brune n'est point un effet de contraste ; quelquefois en effet, le brouillard est visible, avant d'être bordé par l'arc lumineux. Cela tient à quelque opération qui s'accomplit dans une partie de l'atmosphère, car rien ne fait croire jusqu'ici à un mélange matériel, d'où résulterait l'obscurcissement. Le télescope reconnaît les plus petites étoiles dans le segment obscur, comme dans les parties colorées et lumineuses de l'aurore parvenue à son entier développement. Sous les hautes latitudes, le segment obscur paraît être beaucoup plus rare que sous les latitudes moyennes. Au mois de février et de mars, à une époque où les aurores boréales étaient fréquentes, et par un ciel très-pur, il a complétement fait défaut. Keilhau a passé tout un hiver, à Talwig en Laponie, sans en voir un seul. Argelander a montré, en déterminant très-exactement des hauteurs d'étoiles, qu'aucune partie de la lumière polaire n'a d'influence à de telles hauteurs. En dehors des segments, se forment aussi, bien que cela soit plus rare, des rayons noirs ou stries, que Hansteen et moi avons vu monter dans plusieurs occasions (33). En même temps apparaissent des taches noires de forme arrondie et enfermées dans des espaces lumineux, dont s'est particulièrement occupé Siljes-

trœm (34). La partie centrale de la couronne que l'on observe d'ailleurs si rarement, et dont, par un effet de perspective, le sommet se confond, en chaque lieu, avec le prolongement de l'aiguille d'inclinaison est le plus souvent aussi d'un noir foncé. Bravais estime que cet effet, ainsi que la couleur noire des rayons, sont des illusions d'optique produites par le contraste des couleurs. Souvent on voit monter parallèlement vers le zénith plusieurs arcs lumineux ; quelquefois, il y en a sept et même neuf, mais cela est rare, et quelquefois aussi ils manquent absolument. Les faisceaux de rayons et les colonnes lumineuses affectent les formes les plus variées. On y peut reconnaître des plis onduleux, des guirlandes dentelées des crochets, des langues de flamme ou des voiles de navire gonflées (35).

Sous les hautes latitudes, la couleur qui domine d'ordinaire dans les aurores boréales est la couleur blanche; blanche comme le lait, lorsque la lumière est peu intense, elle tourne au jaune, lorsque la lumière est plus éclatante. Alors le milieu de la large bande de rayons devient d'un jaune foncé, et sur les deux bords, on voit distinctement du rouge et du vert. Si les rayons se développent en rubans longs et étroits, le rouge est au-dessus et le vert au-dessous. Soit que le mouvement s'opère de gauche à droite ou de droite à gauche, le rouge est toujours du côté vers lequel est dirigé le mouvement; le vert reste à l'arrière. Il est très-rarement arrivé que, dans les rayons verts ou rouges, on ait observé une seule

des couleurs complémentaires. On ne voit jamais de bleu; un rouge foncé, semblable au reflet d'un incendie, est même si rare dans le Nord, que Siljestrœm ne l'a observé qu'une seule fois (36). L'intensité lumineuse de l'aurore boréale n'atteint jamais, même dans le Finmark, celle de la pleine Lune.

L'opinion que j'ai exprimée depuis si longtemps sur la connexité vraisemblable entre la lumière polaire et la formation des plus petits et des plus déliés d'entre les nuages, c'est-à-dire des cirrus, désignés par les habitants de la campagne sous le nom de nuages moutonnés, dont les trainées parallèles, à égales distances les unes des autres, suivent le plus souvent la direction du méridien magnétique, a trouvé, dans ces derniers temps, beaucoup de défenseurs. Faut-il en conclure, comme l'affirment l'amiral Wrangel et l'explorateur des régions septentrionales, Thienemann, que ces nuages sont le substratum de la lumière polaire, ou ne sont-ils pas plutôt, ainsi que je l'ai supposé, d'accord avec le capitaine Franklin et le docteur Richardson, un phénomène météorologique, accompagnant l'orage magnétique et produit par lui; c'est ce qui n'a point encore été décidé (37). Outre la disposition régulière des bandes polaires, formées par ces légères trainées de cirrus, et leur direction en rapport avec la déclinaison magnétique, j'ai beaucoup examiné, en 1803 sur le plateau du Mexique, en 1829 dans la partie septentrionale de l'Asie, le mouvement circulaire des points de convergence. Lorsque le phénomène se produit

d'une manière complète, les deux points apparents de convergence, au lieu de rester fixes, l'un au Nord-Est, l'autre au Sud-Ouest, dans la direction de la ligne qui relie les points culminants des arcs auroraux nocturnes, se meuvent graduellement vers l'Est et vers l'Ouest (38). On a observé plusieurs fois et très-exactement, dans le Finmark, un mouvement de translation, qui fait mouvoir de la même manière la ligne servant à unir, dans les véritables aurores boréales, les sommets des arcs lumineux, tandis que les pieds de ces arcs, c'est-à-dire leurs points d'appui sur l'horizon, quittent la direction de l'Est à l'Ouest, pour prendre celle du Nord au Sud (39). D'après ces aperçus, la situation des nuages moutonnés, disposés en bandes polaires, répond aux colonnes lumineuses ou faisceaux de rayons qui partent des arcs, le plus souvent dirigés de l'Est à l'Ouest, et s'élevant vers le zénith, ne peuvent être confondus avec les arcs observés par Parry, qui restent visibles durant une journée claire, à la suite d'une nuit remplie par une aurore boréale. Le même phénomène s'est reproduit en Angleterre, le 3 septembre 1827; on a vu dans le jour des colonnes brillantes s'élancer de l'arc lumineux (40).

On a plusieurs fois affirmé qu'autour du pôle Nord magnétique règne une aurore boréale perpétuelle. Bravais, qui a passé en observation 200 nuits consécutives, durant lesquelles il a contemplé et décrit exactement 152 aurores boréales, déclare en effet que les nuits sans apparitions lumineuses sont exceptionnelles. Il lui est arrivé cependant quelquefois, par un ciel

très-serein, et quand rien ne rétrécissait l'horizon, de ne découvrir aucune trace de lumière polaire, ou d'attendre du moins l'orage magnétique pendant une partie considérable de la nuit. C'est à la fin de septembre que les aurores boréales sont, absolument parlant, le plus nombreuses, et comme le mois de mars paraît avoir, sous ce rapport, une supériorité relative sur les mois de février et d'avril, on peut soupçonner que ce phénomène, comme d'autres phénomènes magnétiques, est en relation avec les équinoxes. Aux exemples d'aurores boréales visibles au Pérou, et d'aurores australes visibles en Écosse, il convient de joindre un phénomène de lumière polaire colorée, observé pendant deux heures entières, le 14 janvier 1831, par le capitaine Lafont, à Candide, au sud de la Nouvelle-Hollande, sous le 45e parallèle (41).

A la suite des expériences de Bossekop, les physiciens français et Siljestrœm ont nié la production du bruit aussi formellement que Thienemann, Parry, Franklin, Richardson, Wrangel et Anjou (42). Bravais a donné, comme mesure de la hauteur du phénomène, au moins 100 000 mètres (51 307 toises), qui forment plus de 13 milles géographiques. Il est vrai que, d'autre part, un observateur fort distingué, M. Farquharson évalue à peine cette hauteur à 4 000 pieds. Les fondements de ces mesures sont fort incertains. Les effets de perspective et l'identité supposée de deux arcs lumineux, aperçus simultanément sur deux points éloignés de l'horizon, peuvent facilement induire en erreur. On ne peut mettre

en doute, au contraire, l'influence de la lumière polaire sur la déclinaison, sur l'inclinaison et sur l'intensité horizontale ou totale. Mais bien que cette influence se fasse sentir sur tous les éléments du magnétisme terrestre, elle agit inégalement sur chacun d'eux, et dans des phases différentes. Les recherches les plus complètes qui aient été faites à ce sujet, sont celles auxquelles se sont livrés en Laponie (1838-1839), deux observateurs distingués, Siljestrœm et Bravais (43), ainsi que celles qui ont été recueillies à Toronto, dans le Canada (1840-1841), et discutées d'une manière si ingénieuse par Sabine (44). Les observations instituées d'accord et simultanément, dans le jardin de M. Mendelsohn-Bartholdy à Berlin, dans les mines de Freiberg, à Pétersbourg, à Kasan et à Nicolaïeff, ont constaté que l'aurore boréale visible à Alford, dans le comté d'Aberdeen, par 57° 15′ de latitude, le 19 et le 20 décembre 1829, avait, en ces divers lieux, agi sur la déclinaison, et que, dans d'autres contrées où l'on avait pu observer aussi les autres éléments du magnétisme terrestre, la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité s'en étaient ressenties en même temps (45). Pendant la belle aurore boréale que le professeur Forbes observa, le 21 mars 1833, à Édimbourg, l'inclinaison fut extrêmement faible, et l'aiguille de déclinaison si agitée qu'on pouvait à peine faire les lectures angulaires. Un phénomène, qui paraît mériter une attention particulière, c'est l'affaiblissement de l'intensité totale, durant la période la plus active de l'aurore boréale. Les mesures que j'ai

prises à Berlin avec Oltmanns, pendant une belle aurore boréale, qui fut visible le 20 décembre 1806 (46), et qui sont imprimées dans les Recherches d'Hansteen sur le magnétisme terrestre, ont été confirmées par Sabine et par la commission française envoyée dans le nord en 1838 (47).

En exposant avec tout le soin dont je suis capable l'état actuel de nos connaissances positives touchant les phénomènes du magnétisme terrestre, j'ai dû me borner à décrire d'une manière purement objective des faits qui ne comportent pas encore d'explication théorique, fondée même uniquement sur l'induction et l'analogie. Par la même raison, je me suis abstenu, dans ce travail, d'hypothèses géognostiques, et je n'ai point cru devoir signaler les dépendances que l'on a cru reconnaître entre la direction des grandes chaînes de montagnes ou des masses rocheuses stratifiées et celle des lignes magnétiques, particulièrement des lignes isocliniques et isodynamiques. Je suis bien loin de nier l'influence de toutes les forces élémentaires de la nature qui agissent dynamiquement et chimiquement, non plus que l'influence des courants magnétiques et électriques sur la formation des roches cristallines et sur le remplissage des filons (48); mais si l'on considère le déplacement de toutes les lignes magnétiques, et les variations de forme qui accompagnent ce mouvement, il est difficile que leur situation actuelle nous renseigne sur les directions relatives des chaînes de montagnes soulevées à des époques très-différentes, et sur les rides qu'a contractées

l'écorce terrestre en se solidifiant, par la perte de sa chaleur.

Les phénomènes géognostiques que l'on peut désigner sous le nom de magnétisme des montagnes, sont des phénomènes partiels et locaux d'une espèce différente, et qui ne sauraient rentrer dans le magnétisme terrestre en général (49). Je m'en suis fort occupé, en 1796, avant mon départ pour l'Amérique, lorsque j'étudiais la serpentine magnétique de l'Haidberg, en Franconie. Il y eut à ce sujet en Allemagne un grand combat qui, à la vérité, ne chagrina personne et resta purement littéraire. Ces phénomènes fournissent matière à une série de problèmes fort abordables, mais fort imparfaitement résolus et très-négligés aujourd'hui. On peut essayer la puissance du magnétisme des montagnes dans quelques fragments détachés de hornblende et de chlorite schisteuses, de serpentine, de syénite, de dolérite, de basalte, de mélaphyre et de trachyte, d'après la déviation de l'aiguille, et, en ce qui concerne l'accroissement d'intensité, d'après le nombre des oscillations. Il est facile, en comparant le poids spécifique, en lavant la roche réduite en poudre, et en y appliquant un microscope, de décider si souvent la force de la polarité ne tient pas moins à la quantité des parcelles de fer magnétique ou d'oxyde de fer contenues dans la roche qu'à la disposition relative de ces parcelles. Une question beaucoup plus importante, au point de vue cosmologique, serait celle que j'ai proposée, il y a longtemps, au sujet de l'Haidberg : Existe-

t-il des montagnes dans lesquelles les versants opposés aient des pôles opposés (50)? Il y aurait un grand intérêt à déterminer avec exactitude l'orientation astronomique de l'axe magnétique d'une montagne, soit que que l'on dût trouver, après de longues périodes de temps, un changement dans la direction de l'axe, soit que l'on dût reconnaître l'indépendance au moins apparente de ce petit système de forces magnétiques, par rapport aux trois éléments variables du magnétisme terrestre.

DEUXIÈME PARTIE

RÉACTION DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE CONTRE SA SURFACE.

EXPOSÉ GÉNÉRAL.

On a vu que cette partie du *Cosmos* est destinée surtout à présenter l'enchaînement des phénomènes terrestres et l'ensemble de forces actives composant un seul et même système. Afin de rester fidèle à ce plan, il est nécessaire de rappeler ici comment, prenant pour point de départ les propriétés générales de la nature et les trois directions principales de son activité : l'attraction, les vibrations de la chaleur et de la lumière, les phénomènes électro-magnétiques, j'ai considéré dans la première partie de ce volume,

les dimensions, la forme et la densité de notre planète, la distribution de sa chaleur intérieure et sa tension magnétique, s'exerçant par les divers effets à la fois variables et réguliers de l'intensité, de l'inclinaison et de la déclinaison. Les directions diverses de l'activité terrestre sont des manifestations étroitement unies d'une seule et même force primordiale (1). C'est surtout dans la gravitation et l'attraction moléculaire que ces manifestations se montrent indépendantes de la diversité des substances. Nous avons montré aussi notre planète dans sa relation cosmique avec le corps céleste, centre du système auquel elle appartient, parce que la chaleur d'origine, qui règne à l'intérieur du corps terrestre, due vraisemblablement à la condensation d'un anneau nébuleux tournant sur lui-même, est modifiée par l'influence du Soleil ou insolation. C'est encore pour la même raison que j'ai signalé, d'après les plus récentes hypothèses, l'influence périodique qu'exercent sur le magnétisme terrestre les taches solaires, c'est-à-dire les ouvertures qui se pratiquent plus ou moins fréquemment dans les enveloppes du Soleil.

La seconde partie de ce volume traitera des phénomènes complexes qui doivent être attribués à la réaction permanente de l'intérieur de la Terre contre sa surface (2). Je désigne cet ensemble de phénomènes sous le nom général de vulcanisme, estimant avantageux de ne pas séparer ce qui a une cause commune, et ne diffère qu'en ce que la force qui agit se manifeste avec des intensités différentes et par des pro-

cédés physiques diversement compliqués. Envisagés de ce point de vue général, des phénomènes, indifférents en apparence, acquièrent une plus haute signification. Le voyageur qui, sans être préparé par des études scientifiques, s'avance pour la première fois au bord d'un bassin que remplit une source d'eau chaude, et y voit monter des gaz qui éteignent la flamme d'une bougie; celui qui marche entre des rangées de volcans boueux à cônes variables qui dépassent à peine sa tête, ne soupçonne pas que, dans ces espaces aujourd'hui paisibles, des flammes ont été lancées souvent à plusieurs milliers de pieds de hauteur, que la même force intérieure, à laquelle sont dus ces phénomènes, produit indifféremment les cratères de soulèvement gigantesques, les volcans dévastateurs de l'Etna et du pic de Teyde, qui vomissent des flots de lave, ceux du Cotopaxi et du Tunguragua, qui rejettent des monceaux de scories.

Dans cette échelle de phénomènes, produits par la réaction de l'intérieur de la Terre contre son écorce extérieure, je choisis d'abord ceux qui sont purement dynamiques, c'est-à-dire dont le caractère essentiel est le mouvement ondulatoire qui se propage à travérs les couches solides de la Terre. Dans ce cas, l'activité volcanique n'est pas nécessairement accompagnée de transformation chimique, de la production ou de l'éjection d'une matière quelconque. Au contraire, dans les autres phénomènes dus à la réaction de l'intérieur contre l'extérieur de la Terre, dans les volcans de gaz et de boue, les feux de naph-

the et les salses, comme dans les grandes montagnes ignivomes, les seules qui d'abord et pendant longtemps, aient été appelées des volcans, il ne manque jamais de se produire quelque substance, gaz élastique ou corps solide. Toujours il y a décomposition, dégagement de gaz et formation de roches nouvelles par l'effet de la cristallisation. Tels sont, dans leur plus grande généralité, les signes distinctifs de la vie volcanique de la Terre. En tant que cette activité résulte en majeure partie de la haute température des couches inférieures du globe, il devient vraisemblable que tous les corps célestes qui se sont arrondis avec un immense dégagement de chaleur, et sont passés de l'état de vapeur à l'état solide, doivent présenter des phénomènes analogues. Le peu que nous savons de la configuration de la Lune est une présomption de plus (3); rien n'empêche d'admettre, même dans un corps céleste privé d'air et d'eau, le soulèvement des montagnes et cette activité qui transforme une masse liquéfiée en roches cristallines.

Que les diverses classes de phénomènes volcaniques précédemment énumérées soient liées entre elles par une même origine, c'est ce que démontrent des traces nombreuses attestant encore leur simultanéité, et le passage commun d'effets plus simples et plus faibles à des effets plus forts et plus complexes. Cette considération justifie l'ordre dans lequel j'ai rangé les différentes matières. La tension du magnétisme terrestre, dont il ne faut pas chercher le siége dans les matières en fusion qui remplissent l'inté-

rieur du globe, bien que, d'après Lenz et Riess, le fer fondu ait la faculté de conduire un courant électrique ou galvanique, produit un développement de lumière dans les pôles magnétiques, ou du moins dans leur voisinage. J'ai terminé le premier chapitre du volume consacré à la partie terrestre du *Cosmos* par l'illumination de la Terre. Ce phénomène de la production de la lumière, résultant des vibrations de l'air mis en mouvement par les forces magnétiques, sera suivie des phénomènes volcaniques qui, en vertu de leur nature propre, n'agissent aussi que d'une manière purement dynamique, c'est-à-dire en déterminant des oscillations dans l'écorce de la Terre, mais sans produire ni transformer aucune substance. Les phénomènes secondaires qui ne résultent pas nécessairement de l'activité volcanique, tels que les flammes qui s'élèvent pendant les tremblements de terre, les éjections d'eau et le développement de gaz qui en sont la suite, rappellent les effets des sources thermales et des salses (4). Les salses vomissent aussi des flammes et lancent çà et là des blocs de rochers arrachés aux profondeurs de la Terre (5). Ils préparent en quelque sorte aux phénomènes grandioses des volcans proprement dits, qui, à leur tour, dans les intervalles des éruptions, se bornent, comme les salses, à laisser échapper par les crevasses des vapeurs aqueuses et des gaz. Telles sont les analogies saisissantes qu'offre, à ses différents degrés, l'activité volcanique de la Terre; telles sont les leçons que l'on en peut tirer.

TREMBLEMENTS DE TERRE.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 228-244.)

Depuis que j'ai tracé dans le premier volume de cet ouvrage (1845), un tableau général des phénomènes dynamiques, dus à l'activité volcanique de la Terre, l'obscurité qui entourait le siége et les causes de ces phénomènes n'a pas sensiblement diminué. Cependant les excellents travaux de Mallet (1846) et de Hopkins (1847), ont répandu quelque lumière sur la nature de l'ébranlement, sur la connexité d'effets en apparence divers, et sur l'indépendance des phénomènes physiques ou chimiques qui accompagnent les tremblements de terre ou se produisent en même temps (6). Ainsi que l'a montré Poisson, le raisonnement mathématique peut-être ici comme partout d'un grand secours. Les analogies entre les vibrations des corps solides et les ondes sonores de l'air, que Thomas Young avait déjà signalées à l'attention, sont particulièrement propres à amener des vues théoriques plus satisfaisantes et plus simples sur la dynamique des tremblements de terre (7).

Le déplacement, la commotion, le soulèvement, le

crevassement, constituent le caractère essentiel du phénomène qui nous occupe. Il y a lieu de distinguer, d'une part, la force active dont l'impulsion détermine les vibrations, de l'autre la nature, la propagation et l'intensité plus ou moins grande des ondes d'ébranlement. J'ai décrit, dans le premier volume du *Cosmos*, ce qui d'abord frappe les sens, ce que j'ai eu moi-même l'occasion d'observer pendant tant d'années sur la mer, sur le lit desséché des Llanos et à des hauteurs de huit à quinze mille pieds; au bord des cratères de volcans enflammés, et dans des régions de granite et de schiste micacé, situées à trois cents milles géographiques de toutes les éruptions de flammes; dans des contrées où, à certaines époques, les habitants ne comptent pas plus les secousses souterraines qu'en Europe nous ne comptons les averses, où un jour Bonpland et moi, nous fûmes forcés par l'inquiétude de nos mulets de mettre pied à terre au milieu d'une forêt, parce que le sol avait tremblé pendant quinze ou dix-huit minutes. Cette longue habitude, que plus tard Boussingault a pu acquérir à un plus haut degré encore, dispose à observer avec plus de calme et d'attention. On se sent sur les lieux mêmes en situation d'esprit de recueillir avec un sang-froid critique les indices divergents, d'examiner dans quelles conditions ont pu se produire à la surface de la Terre les grands changements dont on retrouve les traces fraîches encore. Bien que déjà cinq années se fussent écoulées depuis l'effroyable tremblement de terre de Riobamba qui, en quelques minutes, le 4 fé-

vrier 1797 (8), coûta la vie à près de 30,000 hommes, nous retrouvâmes les cônes de Moya qui étaient sortis de terre à ce moment (9), et les Indiens se servaient encore, dans leurs huttes, de cette substance combustible pour la cuisson de leurs aliments. J'ai pu décrire les bouleversements produits dans le sol par cette catastrophe qui renouvela, sur une plus vaste échelle, les phénomènes qu'avait présentés le célèbre tremblement de terre de Calabre, au mois de février 1783, et que l'on considéra longtemps comme des fantaisies de l'imagination, faute de pouvoir les faire rentrer dans des théories formées au hasard.

En séparant, ainsi que cela a été convenu plus haut, les considérations sur la force qui produit l'ébranlement des considérations sur la nature et la propagation des ondes, on est amené à distinguer deux classes de problèmes dont la solution offre des difficultés bien différentes. La première classe ne saurait, dans l'état actuel de la science, fournir des résultats satisfaisants; c'est à quoi il faut généralement s'attendre dans les choses où l'on a la prétention de remonter jusqu'aux causes dernières. Il est néanmoins d'un grand intérêt pour la contemplation du monde, tout en cherchant les lois réelles des phénomènes soumis à l'observation positive, de ne jamais perdre de vue les diverses explications hasardées sur les causes de ces phénomènes, et qui jusque-là avaient été considérées comme plausibles. Pour tout ce qui concerne les effets volcaniques. la majeure partie des hypothèses est empruntée à la haute température et à la

constitution chimique diversement modifiées des matières incandescentes qui bouillonnent dans l'intérieur de la Terre. Une seule de ces hypothèses, la plus récente de toutes, s'efforce d'expliquer les tremblements de terre dans les régions trachytiques par le défaut de cohésion des masses rocheuses qu'a soulevées l'action volcanique. Le passage suivant indique avec précision et vérité les différents aperçus proposés sur la nature de l'impulsion première qui détermine l'ébranlement :

« 1° Le noyau de la Terre est supposé à l'état de fusion; cet état est en effet la conséquence du mode de formation de tout corps planétaire qui, composé originairement d'une matière gazeuse, dégage de la chaleur, à mesure qu'il passe de l'état liquide à l'état solide. Les couches extérieures ont été d'abord refroidies par le rayonnement et se sont modifiées les premières. Un dégagement inégal de vapeurs élastiques, formées à la limite de l'état liquide et de l'état solide, soit seulement par la masse en fusion, soit aussi par l'eau de mer qui pénètre à l'intérieur; des failles s'ouvrant tout à coup, et livrant passage à des vapeurs plus profondes, douées par conséquent d'une chaleur et d'une tension plus intenses, qui s'élèvent brusquement vers les couches plus voisines de la surface terrestre : telles sont les causes de l'ébranlement. Comme cause accessoire, prise en dehors de la Terre, on admet encore l'attraction qu'exercent le Soleil et la Lune sur la surface liquéfiée du noyau terrestre (10), d'où résulte une pression plus

forte, dirigée immédiatement contre la voûte rocheuse qui repose sur le noyau de la Terre, ou se communiquant médiatement, aux endroits où, dans les bassins souterrains, la masse solide est séparée de la masse liquide par des vapeurs élastiques.

2° On a supposé que le noyau de notre planète consistait en masses non oxydées, en combinaisons de métalloïdes avec des métaux alcalins et terreux. Dans cette hypothèse, ce serait l'air et l'eau qui, pénétrant dans le noyau de la Terre, mettraient en mouvement son activité volcanique. Il est bien vrai que les volcans rejettent dans l'atmosphère une grande quantité de vapeur aqueuse, mais la filtration de l'eau dans le foyer volcanique présente beaucoup de difficultés, en raison de la double pression qu'exercent en sens contraire la colonne d'eau extérieure et la lave intérieure (11). L'absence, durant l'éruption, ou du moins l'extrême rareté du gaz hydrogène inflammable, que ne peuvent suffisamment suppléer les formations d'acide chlorhydrique (12), d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré, a engagé le célèbre auteur de cette hypothèse à l'abandonner spontanément (13).

3° D'après un troisième système, qui est celui de l'éminent explorateur de l'Amérique méridionale, Boussingault, le manque de cohérence dans les masses de trachyte ou de dolérite, qui constituent les volcans soulevés de la chaîne des Andes, doit être considéré comme la cause principale d'un grand nombre d'ébranlements qui se sont fait sentir à de vastes distances. D'après cette conjecture, on n'admet plus que les

cônes gigantesques et les sommets en forme de dômes des Cordillères aient été soulevés, lorsque leur substance était pâteuse encore et dans un état de demi-fluidité; ce sont d'immenses fragments angulaires, amoncelés les uns sur les autres, après qu'ils étaient déjà parvenus à un état de solidité complète. Cet amoncèlement a dû de toute nécessité laisser subsister des intervalles et des cavernes profondes. Lorsque ces voûtes s'affaissent subitement, lorsqu'un point d'appui trop faible vient à manquer sous ces masses solides, c'est alors que se produisent les ébranlements (14).

Il est plus facile de ramener à des théories mécaniques simples et claires les ondes d'ébranlement produites par la première impulsion, que d'expliquer la nature de cette impulsion, qui peut être d'ailleurs d'espèces différentes. Ainsi qu'on l'a fait remarquer plus haut, cette branche de la science géognostique a fait dans les derniers temps des progrès considérables. On a représenté la marche et l'extension des ondulations terrestres à travers des roches de densité et d'élasticité différentes (15). On a étudié mathématiquement les causes de la vitesse avec laquelle elles se propagent, et leur affaiblissement produit par la rupture, le reflet et l'interférence des oscillations (16). On a essayé de ramener à la ligne droite les commotions qui paraissent être giratoires, et dont les obélisques placés devant le cloître San-Bruno, dans la petite ville Stephano del Bosco, en Calabre, ont fourni en 1783 un exemple souvent cité (17). Il est vrai que les ondulations de l'atmosphère, de l'eau et de la terre

suivent dans l'espace les mêmes lois, constatées par la théorie du mouvement, mais les effets dévastateurs des ondes terrestres sont accompagnés de phénomènes que leur nature condamne à rester obscurs, et qui rentrent dans le domaine de la physique. Parmi ces effets, il convient de citer les émanations de vapeurs élastiques et de gaz, ou, comme dans les petits cônes mobiles de moya que l'on rencontre à Pelileo, le mélange sablonneux de cristaux de pyroxène, de charbon et d'infusoires à carapace siliceuse. Ces cônes mobiles ont renversé un grand nombre de huttes habitées par les Indiens (18).

Dans le Tableau général de la Nature, j'ai rapporté, au sujet de la grande catastrophe arrivée à Riobamba, le 4 février 1797, des détails recueillis sur les lieux mêmes de la bouche des survivants, avec un sérieux désir de démêler la vérité historique. Quelques-uns sont analogues aux phénomènes qui s'étaient déjà présentés lors du grand tremblement de terre de la Calabre, en 1783; d'autres étaient nouveaux et avaient pour principal caractère d'être dirigés de bas en haut, comme dans l'explosion d'une mine. Le tremblement de terre ne fut ni annoncé ni accompagné par aucun bruit souterrain. Une immense détonation, désignée encore aujourd'hui par ces seuls mots : *el gran ruido*, se produisit seulement 18 ou 20 minutes plus tard, sous les deux villes de Quito et d'Ibarra, et ne fut entendue ni à Tacunga, ni à Hambato, ni sur le théâtre même du désastre. Dans les tristes calamités auxquelles est exposée la race humaine, il n'y en a pas

qui, dans un pays peu peuplé, puisse, en moins de minutes, frapper autant de milliers d'hommes que la production et la propagation de quelques ondes terrestres, accompagnées de crevassements.

Lors de la catastrophe de Riobamba, sur laquelle le célèbre botaniste de Valence, don José Cavanilles, fit parvenir les premiers détails, d'autres faits se produisirent qui méritent une attention particulière. Des fentes s'ouvrirent et se refermèrent de telle façon que des hommes purent se sauver en étendant les deux bras. Des troupes de cavaliers ou de mulets chargés disparurent dans des crevasses qui s'ouvrirent en travers sous leurs pas, tandis que d'autres échappaient au danger en se rejetant en arrière. La surface du sol fut successivement exhaussée et abaissée par des oscillations irrégulières, qui déposèrent sans secousse sur le pavé de la rue des personnes placées plus de douze pieds plus haut, dans le chœur de l'église; de vastes maisons s'enfoncèrent dans la terre, avec si peu de dégâts que les habitants sains et saufs purent ouvrir les portes à l'intérieur, et attendirent deux jours qu'on les dégageât. Ils allèrent d'une chambre dans l'autre, allumèrent des flambeaux, se nourrirent des provisions qu'ils avaient par hasard et s'entretinrent des chances de salut qui leur restaient (19). Une chose non moins surprenante, c'est la disparition de masses aussi énormes de pierres et de matériaux de construction. Le Vieux-Riobamba avait des églises et des cloîtres entourés de maisons à plusieurs étages, et cependant je n'ai trouvé dans les ruines, lorsque

j'ai levé le plan de la ville détruite, que des amas de pierres de 8 à 10 pieds de hauteur. Dans la partie Sud-Ouest du Vieux-Riobamba, anciennement *Barrio de Sigchuguaicu*, on put reconnaître clairement une force dirigée de bas en haut, qui produisit l'effet de l'explosion d'une mine. Sur le Cerro de la Culca, haut de quelques centaines de pieds, et qui domine le Cerro de Cumbicarca, situé un peu plus au Nord, il existe des décombres mêlés d'ossements humains. A Quito, comme en Calabre, il y eut plusieurs exemples de translations horizontales, qui déplacèrent des allées d'arbres sans les déraciner, et firent glisser les uns sur les autres des champs couverts de différentes cultures. Un fait plus surprenant encore et plus complexe, c'est que l'on trouva dans les décombres d'une maison le mobilier d'une autre maison, fort éloignée de la première, découverte qui donna matière à un procès. Cette confusion provenait-elle, ainsi que le supposent les habitants du pays, d'un affaissement du sol, à la suite duquel les objets auraient été précipités, ou faut-il croire, malgré la distance, à une simple superposition? Comme, dans la nature, tout se renouvelle, lorsque les mêmes circonstances se représentent, on ne doit pas craindre d'appeler l'attention des observateurs à venir sur des phénomènes particuliers, en signalant les faits mêmes qui n'ont pas encore été observés suffisamment.

D'après les expériences auxquelles je me suis livré, il ne faut pas oublier qu'outre l'ébranlement des

parties solides par les ondulations terrestres, des forces d'une tout autre nature bien qu'également physiques, telles que les émanations de gaz et de vapeurs, concourent le plus souvent à la formation des failles. Lorsque, dans les ondulations, l'extrême limite de l'élasticité de la matière en mouvement, limite variable suivant la différence des roches et des terrains stratifiés, se trouve dépassée, et que la rupture s'opère, les crevasses peuvent livrer passage à des vapeurs élastiques qui portent de l'intérieur à la surface différentes substances, et dont les émanations deviennent à leur tour la cause de mouvements translatoires. A ces phénomènes qui accompagnent la commotion primitive, mais n'en font pas nécessairement partie, appartient le soulèvement des cônes de moya dont on ne peut contester la nature errante, et vraisemblablement aussi le transport de différents objets sur la surface de la Terre (20). Lorsque de puissantes crevasses se referment seulement à la partie supérieure, elles laissent subsister des cavernes souterraines, qui non-seulement produisent de nouveaux tremblements de terre, à cause des masses mal soutenues qui se détachent avec le temps, d'après la conjecture de Boussingault, et déterminent une commotion souterraine; mais qui peuvent aussi agrandir les cercles d'ébranlement, en permettant aux vapeurs élastiques d'agir désormais dans des lieux où elles n'étaient jamais parvenues. Ainsi c'est un phénomène accessoire qui amène l'agrandissement successif et trop peu observé jusqu'ici du cercle d'é-

branlement; ce n'est pas la force même de l'onde d'ébranlement qui a traversé une fois pour toutes les parties solides de la Terre (21).

Presque toujours les manifestations de l'activité volcanique, dont les tremblements de terre sont un des moindres effets, comprennent simultanément des phénomènes dynamiques et des phénomènes physiques, donnant naissance à des substances nouvelles. J'ai rappelé plusieurs fois dans le Tableau général de la Nature, comment, loin de tout volcan, de simples failles rejettent de l'eau et des vapeurs chaudes, de l'acide carbonique et d'autres gaz, une fumée noire, semblable à celle que l'on vit durant plusieurs jours dans les rochers d'Alvidras, lors du tremblement de terre de Lisbonne (1er novembre 1755), des flammes, du sable, de la boue et de la moya mêlée de charbon. Un géognoste d'un esprit pénétrant, Abich, a montré le lien qui existe, dans le Ghilan persique, entre les sources thermales de Sarcin, situées à une hauteur de 5 050 pieds, sur le chemin d'Ardebil à Tabriz, et les tremblements de terre qui souvent ébranlent le plateau, de deux en deux années. Au mois d'octobre 1848, une secousse ondulatoire, qui dura une heure entière, força les habitants d'Ardebil de déserter la ville, et aussitôt les sources, dont la température varie ordinairement de 44 à 46° centigrades, devinrent extrêmement brûlantes et restèrent dans cet état tout un mois (22). Nulle part peut-être, dit Abich, la liaison des tremblements de terre, qui crevassent le sol, avec les phénomènes

des volcans de boue, des salses, des gaz inflammables, qui pénètrent à travers les fissures de la Terre, et des sources de pétrole, n'a été mieux déterminée ni plus manifeste que dans l'extrémité Sud-Est du Caucase, entre Schemacha, Bakou et Sallian; c'est la partie de la grande dépression aralo-caspienne dans laquelle le sol a été le plus souvent remué par les tremblements de terre (23). J'ai été surpris moi-même de trouver, dans le Nord de l'Asie, que le cercle de commotion dont le centre paraît être la contrée du lac Baïkal, ne s'étend pas, à l'Ouest, jusqu'à la chaîne de l'Oural, mais seulement jusqu'à la limite la plus orientale de l'Altaï russe, c'est-à-dire aux mines d'argent de Riddersk, à la roche trachytique de la Kruglaja Sopka, et aux sources thermales de Rachmanowka et d'Aracan. Plus loin vers le Sud, au delà du 45ᵉ parallèle, il existe dans la chaîne du Thian-chan ou Monts Célestes, une zone d'activité volcanique, dirigée de l'Est à l'Ouest, dont la puissance se révèle par tous les modes de manifestations. Non-seulement cette zone s'étend à travers la petite chaîne d'Asferah, depuis le district du Feu (Ho-tscheu) jusqu'à Bakou, et de là jusqu'à l'Asie Mineure, en coupant le mont Ararat, mais on croit pouvoir la suivre, dans ses oscillations entre le 38ᵉ et le 40ᵉ parallèle, jusque vers Lisbonne et les Açores, à travers le bassin volcanique de la Méditerranée. J'ai traité ailleurs en détail ce point intéressant de Géographie volcanique (24). De même, dans la Grèce, qui paraît avoir plus souffert des tremblements de terre qu'au-

cune autre contrée de l'Europe (25), un nombre infini de sources thermales, ou taries, ou coulant encore, sont nées au milieu des ébranlements terrestres. Cette connexité entre des phénomènes indépendants en apparence a été déjà signalée dans le remarquable livre de Johannes Lydus, *de Ostentis* (26). Ce fut, surtout à l'occasion du grand événement qui amena, dans l'Achaïe, l'an 373 avant Jésus-Christ, la destruction d'Hélice et de Bura, que furent mises en avant les hypothèses sur la commune origine de tous les phénomènes volcaniques (27). Aristote propose, à ce sujet, la singulière théorie des vents qui s'engouffrent dans les profondes cavernes de la Terre (28). La fréquence funeste des commotions souterraines en Grèce et dans l'Italie inférieure, en détruisant de bonne heure les monuments de la plus brillante époque de l'art, eut de funestes conséquences pour les études qui s'attachent à suivre dans ses diverses périodes la culture grecque et latine. Les monuments égyptiens ont souffert aussi des tremblements de terre, moins rares qu'on ne l'a pensé dans la vallée du Nil, ainsi que l'a fait voir M. Letronne. Le colosse de Memnon, brisé l'an 27 de l'ère chrétienne, est un exemple de ces mutilations (29).

D'après tous les changements physiques produits par les tremblements de terre, et plus directement par le crevassement du sol, il est surprenant que tant de sources thermales aient conservé exactement pendant plusieurs siècles les mêmes éléments et la même température. Il faut supposer qu'elles

jaillissent de crevasses dont ni le fond ni les parois n'ont subi aucun changement. De nouvelles communications avec les couches plus élevées auraient amené une diminution de chaleur; la chaleur aurait augmenté au contraire, si des communications s'étaient établies avec des couches plus profondes.

Lorsque le volcan de Conseguina, dans l'État de Nicaragua, fit sa grande éruption, le 23 janvier 1835, la détonation souterraine (los ruidos subterraneos) fut entendue en même temps dans l'île de la Jamaïque et sur le plateau de Bogota, à 8200 pieds au-dessus de la mer (30); la distance est plus grande que celle d'Alger à Londres. J'ai fait remarquer ailleurs que, lors de l'éruption du volcan de l'île Saint-Vincent, le 30 avril 1812, à 2 heures du matin, un bruit semblable à une décharge d'artillerie fut entendu sur un espace de 10000 milles géographiques carrés, sans aucun ébranlement sensible (31). Il est singulier que, lorsque le tremblement de terre est accompagné de bruit, ce qui n'est pas toujours le cas, l'intensité du bruit n'augmente pas avec celle de la commotion. Le phénomène de bruit souterrain le plus rare et le plus difficile à expliquer reste toujours celui des *bramidos* de Guanaxuato qui, commencés le 7 janvier 1784, durèrent jusqu'au milieu du mois suivant. J'ai pu recueillir de la bouche de témoins oculaires et parmi les pièces conservées aux archives les premiers renseignements certains sur cet étrange événement (32).

La vitesse avec laquelle se propage un tremble-

ment de terre varie nécessairement suivant les densités des couches solides qu'il traverse, couches de granite et de gneiss, de basalte et de porphyre trachytique, de calcaire jurassique et de gypse, et suivant celles des terrains meubles. Il serait cependant désirable de pouvoir connaître enfin avec sûreté les limites extrêmes entre lesquelles cette vitesse oscille. Il est probable que les secousses les plus violentes ne sont pas celles qui se propagent le plus rapidement. Les mesures d'ailleurs ne sont pas toujours appliquées à la route qu'ont prise les ondes d'ébranlement. Par ces raisons, les déterminations mathématiques nous manquent, et c'est tout récemment, que pour la première fois, Jules Schmidt, astronome adjoint à l'observatoire de Bonn, a obtenu un résultat exact et certain sur le tremblement de terre qui se fit sentir dans le bassin du Rhin, le 29 juillet 1846. La vitesse de propagation a été reconnue être de 3 739 milles géographiques par minute, ce qui revient à 1 376 pieds par seconde; cette vitesse surpasse celle des ondes sonores atmosphériques. Si l'on considère, au contraire, la vitesse du son dans l'eau qui, d'après Colladon et Sturm, est de 4 706 pieds, ou la vitesse du son dans des tubes de fonte qui, suivant Biot, va jusqu'à 10 690 pieds, ce résultat paraîtra relativement bien peu considérable. Pour le tremblement de terre de Lisbonne (1er novembre 1755), Jules Schmidt a reconnu, en se guidant d'après le peu de renseignements exacts qu'il a pu recueillir, que la vitesse avait été cinq fois plus

grande entre les côtes du Portugal et celles du Holstein, que le long du Rhin. Il a trouvé que de Lisbonne à Gluckstadt, séparées par une distance de 295 milles géographiques, l'ébranlement a parcouru 1 916 milles par minute ou 7 464 pieds par seconde; c'est encore 3 226 pieds de moins que le son n'en parcourt dans un tube de fonte (33).

Les commotions terrestres et les éruptions ignées qui rompent brusquement un long repos, soit que les volcans rejettent simplement des scories, soit que, semblables à des fontaines intermittentes, ils fassent couler des terres en fusion dans des torrents de lave, ont toutes, il est vrai, pour cause commune et unique, la haute température qui règne à l'intérieur de notre planète, mais ces phénomènes se montrent le plus souvent indépendants l'un de l'autre. Dans la chaîne des Andes, par exemple, de violents tremblements de terre, se propageant en ligne droite, ébranlent des contrées qui renferment des volcans non encore éteints, dont l'activité se manifeste même fréquemment, sans exercer sur eux aucune influence sensible. Lors de la grande catastrophe de Riobamba, le volcan de Tunguragua, situé à peu de distance, et le Cotopaxi un peu plus éloigné, ne sont pas sortis de leur repos. De même, de longues et formidables éruptions ont eu lieu, sans être précédées ni accompagnées de tremblements de terre. Les ébranlements qui ont causé le plus de ravages et parcouru les espaces les plus considérables, ceux dont l'histoire a gardé le souvenir, sont ceux précisément qui, à

en juger par les observations que l'on peut faire à la surface du sol, n'ont aucun rapport avec l'activité des volcans. Ces ébranlements ont été récemment appelés plutoniques, par opposition aux ébranlements volcaniques proprement dits, qui sont d'ordinaire resserrés dans un espace plus étroit. On ne peut, si l'on envisage d'un point de vue général les phénomènes volcaniques, approuver cette nomenclature; il faudrait alors appeler plutoniques beaucoup plus de la moitié des tremblements de terre.

La cause qui produit les volcans est partout répandue sous nos pieds. Cette considération que la mer qui couvre les trois quarts de la surface terrestre, n'entretient, si ce n'est par quelques îles sporadiques, aucune communication entre l'atmosphère et l'intérieur du globe, c'est-à-dire ne possède pas de volcans actifs, réfute le préjugé très-général, que tous les tremblements de terre doivent être attribués à l'éruption de quelque volcan lointain. Les ébranlements des continents peuvent certainement se propager sous le lit des mers, en franchissant les côtes, et produire ces soulèvements de vagues formidables dont les tremblements de terre de Lisbonne, de Callao, de Lima et du Chili ont fourni de mémorables exemples. Si au contraire, les ébranlements partent du lit même de la mer et prennent naissance dans l'empire du grand agitateur de la Terre, Neptune (σεισίχθων κινησίχθων), on peut encore remarquer, alors même qu'ils ne sont pas accompagnés du soulèvement d'une île, telle que l'île

éphémère de Sabrina ou Julia, un roulement et un gonflement inusités des vagues, aux lieux mêmes où le navigateur ne ressentirait aucune secousse. Les habitants des rivages incultes du Pérou ont souvent appelé mon attention sur des phénomènes de ce genre. Dans le port de Callao et près de l'île San-Lorenzo, située vis-à-vis du port, dans ces parages tranquilles de l'océan Pacifique, j'ai vu, par des nuits dont aucun vent ne troublait le calme, les vagues s'amonceler, pendant quelques heures, à des hauteurs de 10 ou 14 pieds. La supposition qu'un tel phénomène fût la conséquence d'une tempête déchaînée au loin sur la pleine mer n'est pas admissible sous ces latitudes.

Pour commencer par les ébranlements qui sont resserrés dans un petit espace, et tirent évidemment leur origine de l'activité d'un volcan, je rappellerai d'abord, comment, après le grand tremblement de terre de Naples (16 juillet 1805) et après l'éruption de lave qui suivit dix-sept jours plus tard, assis, la nuit, un chronomètre à la main, sur le cratère du Vésuve, au pied d'un petit cône d'éruption, j'ai senti très-régulièrement, toutes les vingt ou vingt-cinq minutes, une commotion dans le sol du cratère, immédiatement avant chaque éjection de scories incandescentes. De ces scories soulevées à 50 ou 60 pieds de hauteur, une partie retombait dans l'ouverture même qui livrait passage à l'éruption; les autres recouvraient les parois du cône. La régularité des phénomènes en rend l'observation sans danger. Ces se-

cousses légères n'étaient nullement sensibles en dehors du cratère, dans l'Atrio del Cavallo, non plus que dans l'ermitage del Salvatore. Les intervalles égaux auxquels se succédaient les secousses prouvent qu'elles étaient indépendantes du degré de tension déterminé que les vapeurs doivent atteindre, pour traverser la masse liquéfiée dans l'intérieur du cône de scories. Sur le versant du cône de cendres, on ne sentait aucune commotion ; il en a été de même depuis, dans un phénomène analogue, quoique de proportions bien différentes. Un observateur très-distingué, M. Wisse, n'a observé aucun tremblement du sol sur le cône de cendres du volcan de Sangai, situé à 15 894 pieds de hauteur, au Sud-Est de la ville de Quito, lorsque, au mois de décembre 1847, il s'est approché du sommet et du cratère, à une distance de 1 000 pieds (34). Cependant il n'a pas compté, dans l'espace d'une heure, moins de 267 explosions ou éruptions de scories.

Une seconde espèce de tremblement de terre, très-nombreuse et infiniment plus importante, est celle qui a coutume d'accompagner ou de précéder les grandes éruptions volcaniques, soit que les volcans déversent des torrents de lave, comme cela est le cas en Europe, soit qu'ils rejettent seulement des masses scorifiées, des cendres et des vapeurs, comme le Cotopaxi, le Pichincha et le Tunguragua de la chaîne des Andes. Les volcans qui déterminent des commotions de cette nature doivent être surtout considérés comme des soupapes de sûreté, ainsi que

Strabon le disait déjà de la crevasse qui répandait des laves auprès de Lelante, en Eubée. Les tremblements de terre cessent aussitôt après la grande éruption.

Mais les ondes d'ébranlement dont les ravages s'étendent sur les plus vastes espaces (35) sont celles qui se propagent dans des contrées dénuées de masses trachytiques et de volcans, ou qui traversant, au contraire, des contrées trachytiques et volcaniques, telles que les Cordillères de l'Amérique méridionale et du Mexique, n'exercent du moins aucune influence sur les volcans dont elles approchent. Ces sortes de commotions composent un troisième groupe de phénomènes, le plus propre à convaincre de l'existence d'une cause générale, qui n'est autre que la constitution thermique de l'intérieur de la Terre. A ce troisième groupe appartient le cas, fort rare d'ailleurs, des commotions qui, dans des pays peu volcaniques et peu visités par les tremblements de terre, ébranlent le sol sans interruption, pendant des mois entiers, sur un espace extrêmement étroit, et font craindre la formation d'un volcan actif. C'est ce qui arriva en Piémont, dans les vallées de Clusson et de Pélis, et près de Pignerol, aux mois d'avril et de mai 1808, à Murcie, entre Orihuela et le rivage de la mer, sur un espace large à peine d'un mille carré, dans le printemps de 1829. Lorsque, à l'intérieur du Mexique, sur le versant occidental du plateau de Mechoacan, la plaine cultivée de Jorullo fut agitée par un tremblement de terre qui dura sans interruption 90 jours, le volcan s'éleva, entouré de plusieurs milliers de cônes,

hauts de 5 à 7 pieds (los hornitos), et répandit un torrent de lave, vite épuisé mais très-abondant. En Piémont et en Espagne, au contraire, les commotions cessèrent insensiblement, sans qu'il s'ensuivît aucun autre événement naturel.

J'ai cru nécessaire de distinguer les différentes espèces de phénomènes par lesquels se manifeste une seule et même force, l'activité volcanique, c'est-à-dire la réaction du centre de la Terre contre sa surface, je l'ai fait afin de guider l'observateur, et d'amasser des matériaux qui puissent conduire à des aperçus féconds sur l'origine commune de ces phénomènes. Quelquefois l'activité volcanique embrasse, soit simultanément, soit à de courts intervalles, une part si considérable du corps terrestre que les ébranlements qu'elle produit peuvent être attribués à plusieurs causes, agissant en même temps et unies entre elles par un lien commun. Les années 1796 et 1811 en particulier offrent de mémorables exemples de ce concours de phénomènes (36).

SOURCES THERMALES.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 244-252.)

Nous avons représenté les tremblements de terre comme une conséquence de l'activité vitale qui anime l'intérieur du corps terrestre, et se manifeste par des phénomènes irréguliers et trop souvent désastreux. Les tremblements de terre sont régis par une force volcanique; mais cette force, considérée en elle-même, se borne à donner l'impulsion, à ébranler le sol; elle agit dynamiquement. Il faut qu'elle soit favorisée sur certains points par des circonstances accessoires, pour devenir capable, je ne dirai pas de produire des substances, comme cela arrive dans les volcans proprement dits, mais pour amener des substances à la surface de la Terre. Si, dans les tremblements de terre, il arrive quelquefois que de l'eau, des vapeurs, du pétrole, des mélanges de différents gaz, ou des masses à demi liquides de boue et de moya, soient rejetés, pendant un court espace de temps, à travers des crevasses subitement ouvertes, d'autre part, des fluides liquides et gazeux s'échappent, d'une manière permanente, du sein de

la Terre, à travers le réseau de crevasses qui l'enveloppe. A côté des courts et violents phénomènes d'éruption, nous plaçons le vaste et paisible système des sources, dont l'action bienfaisante ranime et entretient la vie organique. Pendant des milliers d'années les sources rendent à la création organisée, ce que les pluies ont enlevé d'humidité à l'atmosphère. Les phénomènes analogues s'expliquent l'un par l'autre, dans l'éternelle économie de la nature; et lorsqu'on tend à généraliser les aperçus, il ne faut pas négliger l'étroit enchaînement qui lie les faits dont on a constaté l'affinité.

La division des sources en sources chaudes et en sources froides, division si répandue et qui semble si naturelle dans la pratique du langage, n'a, quand on veut la ramener à des évaluations thermométriques, qu'un fondement incertain. Si l'on compare la chaleur des sources avec la chaleur interne de l'homme, que Bréchet et Becquerel ont trouvée, à l'aide d'appareils thermo-électriques, être comprise entre 36°,7 et 37°, le degré du thermomètre auquel un liquide mis en contact avec le corps humain est considéré comme froid, chaud ou brûlant varie suivant les impressions individuelles. Il ne peut y avoir une température fixe au delà de laquelle une source est réputée chaude. On a proposé d'appeler froide, dans chaque zone de climat, une source dont la température moyenne annuelle ne dépasse pas la température moyenne annuelle de l'atmosphère; cette combinaison offre une assez grande exactitude scien-

tifique, en permettant de comparer des nombres déterminés. Elle a de plus l'avantage de conduire à des considérations sur les différentes origines des sources, attendu que l'égalité entre la température de l'eau et la température annuelle de l'air se reconnaît immédiatement pour les sources invariables, mais que, pour les sources variables, il est nécessaire, ainsi que l'ont montré Wahlenberg et Erman père, de prendre les moyennes des mois d'hiver et des mois d'été. Malheureusement, d'après ce criterium, il y a telle zone où une source devrait être réputée chaude, qui atteindrait à peine la septième ou la huitième partie de la température d'une source réputée froide dans une zone plus voisine de l'équateur. Il suffit de se rappeler la différence entre la température moyenne de Pétersbourg (3°,4) et celle des rives de l'Orénoque. Les sources les plus pures, dont j'ai goûté les eaux dans la contrée qui avoisine les cataractes d'Atures et de Maypures (37) ou dans les forêts de l'Atabapo, avaient une température de plus de 26°. La température des grands fleuves de l'Amérique tropicale répond à l'état thermométrique de ces sources réputées froides (38).

L'émergence des sources, due à divers effets de pression et à un système de crevasses pleines d'eau qui communiquent entre elles, est un phénomène si généralement répandu à la surface de la Terre que, sur quelques points, elles jaillissent des couches les plus élevées des montagnes, que dans d'autres elles sortent du lit de la mer. Dans les vingt-cinq premières an-

nées de ce siècle, Léopold de Buch, Wahlenberg et moi avons fait de nombreuses expériences sur la température des sources et la distribution de la chaleur à l'intérieur de la Terre, depuis 12° de latitude australe jusqu'à 71° de latitude boréale (39). Les sources dont la température est invariable ont été soigneusement distinguées de celles dont la température change avec les saisons, et Léopold de Buch a reconnu l'influence puissante de la distribution des pluies dans le cours de l'année, en d'autres termes l'influence du rapport entre les pluies d'hiver et les pluies d'été sur la température des sources variables, qui sont de beaucoup les plus nombreuses. Les rapprochements fort ingénieux de Gasparin, de Schouw et de Thurmann ont jeté, dans les derniers temps, une nouvelle lumière sur cette influence, considérée au point de vue géographique et hypsométrique, c'est-à-dire d'après les latitudes et les hauteurs (40). Wahlenberg a prétendu que, dans les très-hautes latitudes, la température moyenne des sources variables est un peu supérieure à la température moyenne de l'atmosphère; il a cherché les causes de cette différence, non dans la sécheresse d'un air très-froid et dans la rareté des eaux pluviales qui en est la conséquence, mais dans la couverture de neige qui protége le sol et diminue le rayonnement de la chaleur. Dans les plaines de l'Asie septentrionale, où l'on trouve, à la profondeur de quelques pieds, une couche de glace éternelle ou du moins un sol meuble surperficiel mêlé de morceaux de glace (41), on ne peut faire servir

qu'avec beaucoup de prudence la température des sources à l'explication de l'importante théorie de Kupffer sur les lignes isogéothermes. Il s'opère, dans ces lieux, à la couche supérieure de l'écorce terrestre, un double rayonnement : l'un dirigé de bas en haut vers l'atmosphère, l'autre de haut en bas vers la couche de glace. Une longue série d'observations précieuses, que mon compagnon et mon ami Gustave Rose a recueillies, par un été brûlant, dans des sources qui souvent étaient encore enveloppées de glace, entre l'Irtysch, l'Obi et la mer Caspienne, a dévoilé une grande complication de perturbations locales. De semblables perturbations se produisent, par de tout autres causes, dans la zone des tropiques, aux endroits où des sources alpestres jaillissent, soit de plateaux situés à huit ou dix mille pieds au-dessus du niveau de la mer, comme à Micuipampa, à Quito, à Bogota, soit des cimes aiguës de montagnes isolées qui s'élèvent à plusieurs milliers de pieds au-dessus de ces plateaux; et non-seulement ces phénomènes portent sur une partie beaucoup plus considérable de la surface terrestre, ils sont encore, pour le physicien, une raison de considérer les relations thermométriques analogues, auxquelles donnent lieu les pays montagneux de la zone tempérée.

Avant tout, il est nécessaire, en un pareil sujet, de distinguer les observations réelles des conséquences théoriques. Le résultat que nous cherchons, exprimé de la manière la plus générale, comprend la distribution de la chaleur dans la partie accessible de

l'écorce terrestre, dans l'Océan et dans l'atmosphère. Les deux enveloppes de la Terre, les couches superposées de l'enveloppe liquide et celles de l'enveloppe gazeuse, sont soumises, suivant la direction verticale, à des changements de température en sens contraire. Dans les parties solides de la Terre, la température croît avec la profondeur, le changement s'opère avec des proportions différentes, mais en même sens que dans l'océan atmosphérique, dont les plateaux et les cimes de montagnes diversement configurées forment les bas-fonds et les écueils. Nous connaissons exactement, par des expériences directes, la chaleur de l'atmosphère : géographiquement d'après les déterminations de lieux en longitude et en latitude, hypsométriquement par la mesure des hauteurs verticales au-dessus du niveau de la mer; mais, dans les deux cas, nous ne percevons que la température des couches de l'air presque en contact immédiat avec la partie solide et la partie liquide de la surface terrestre. Sans compter l'effet dû au voisinage trop proche de la Terre, les recherches scientifiques et systématiquement ordonnées, faites à l'aide des aérostats en pleine mer atmosphérique, ont été jusqu'ici trop rares pour permettre de déterminer, comme cela est si nécessaire, les évaluations numériques des états moyens. Pour la diminution de la chaleur dans les profondeurs de l'Océan, les observations ne manquent pas; mais les courants qui apportent de latitudes et de profondeurs différentes des eaux d'inégale densité s'opposent plus encore

peut-être que les courants atmosphériques à ce que l'on obtienne des résultats généraux. J'ai simplement indiqué, en passant, les conditions thermométriques des deux enveloppes de notre planète ; je me réserve d'y revenir pour chacune d'elles ; mais j'ai voulu ne pas envisager séparément, comme un fait isolé, l'influence de la distribution verticale de la chaleur dans l'écorce de la Terre, c'est-à-dire du système des lignes isogéothermes. Il m'a paru qu'il convenait de considérer cette répartition comme une partie du mouvement de la chaleur qui pénètre tout, et l'effet d'une force vraiment cosmique.

Si instructives que puissent être, à beaucoup d'égards, les observations sur la température des sources invariables, qui est en raison inverse de la hauteur de leur point d'émergence, cette relation n'est régie que par des lois locales, qu'on n'est point fondé à considérer, bien qu'on le fasse souvent, comme une des lois générales qui président à la chaleur interne de la Terre. S'il était certain que l'eau pût parcourir un espace considérable sur une couche horizontale, sans subir de mélange, il serait tout simple de croire qu'elle a pris peu à peu la température des roches avec lesquelles elle est en contact. Mais dans le vaste réseau de crevasses qui sillonnent les masses soulevées, ce cas ne peut se produire que fort rarement; des eaux plus froides, parce qu'elles sont plus hautes, se mêlent avec les eaux inférieures. Nos mines, bien qu'elles occupent peu d'espace en profondeur, sont très-instructives

sous ce rapport. Mais pour arriver immédiatement à la connaissance des lignes isogéothermes, le seul moyen est de recourir à la méthode de Boussingault et d'enterrer des thermomètres à des hauteurs très-différentes au-dessus du niveau de la mer, et au-dessous du point où peut se faire sentir encore l'influence des variations de température qui s'opèrent dans les couches inférieures de l'atmosphère (42). Depuis le 45e parallèle jusque dans les régions voisines de l'équateur, la profondeur à laquelle commence la couche de température invariable décroît de 60 pieds jusqu'à 1 pied et demi ou 2 pieds. C'est donc seulement sous les tropiques ou dans la zone sous-tropicale que le procédé de Boussingault est d'une exécution facile. Jusqu'ici les physiciens n'ont pu mettre à profit que dans des localités dont les hauteurs ne dépassent guère 1 500 pieds au-dessus du niveau de la mer l'excellente ressource des puits artésiens qui, à des profondeurs absolues de 700 à 2 200 pieds, donnent un abaissement de 91 à 99 pieds pour un degré du thermomètre centigrade (43). J'ai visité dans la chaîne des Andes, par 6°45′ de latitude australe, des puits creusés de main d'homme dans des mines d'argent, sur une hauteur de près de 2 400 pieds; la température de l'eau qui filtrait à travers les fentes du calcaire était de 11°,3 (44). Les eaux que l'on faisait chauffer pour les bains de l'inca Tupac-Yupanqui sur le dos des Andes, au *Paso del Assuay*, viennent vraisemblablement des sources de la *Ladera de Cadlud*, où j'ai trouvé l'emplacement

de l'ancienne route péruvienne, à une hauteur de 14 568 pieds d'après les indications du thermomètre, presque à la hauteur du Mont-Blanc (45). Ce sont les points les plus élevés où j'aie pu examiner des sources dans l'Amérique du Sud. En Europe, sur les Alpes orientales, les frères Schlagintweit ont mesuré, à 8 860 pieds de hauteur, la température des eaux qui remplissaient le fond des galeries, dans une mine d'or nommée Goldzeche, et celle de petites sources voisines de l'ouverture des puits. Ils n'ont trouvé, à distance de la neige et des glaciers, que 0°,8 (46). Les limites supérieures des sources varient beaucoup suivant les latitudes géographiques, la hauteur de la ligne des neiges et le rapport des cimes les plus élevées aux plateaux et à la crête des montagnes.

Si l'on suppose le rayon de la terre augmenté de la hauteur du Kintschindjunga, l'une des montagnes les plus élevées de la chaîne de l'Himalaya, c'est-à-dire d'une longueur de 26 436 pieds, ce prolongement, égal à $\frac{1}{800}$ seulement du rayon terrestre, laissera subsister, d'après la théorie de Fourier, la température de la surface terrestre à très-peu près telle qu'elle est aujourd'hui. Mais que, sur des points isolés de la Terre s'élèvent des chaînes de montagnes, dominées par des cimes étroites, qui sont comme les écueils de l'Océan atmosphérique, il se produira, de bas en haut, à l'intérieur de ces masses soulevées, un abaissement de température, modifié par leur contact avec des couches d'air de différentes températures, par la capacité pour le calorique et la conductibilité de roches hété-

rogènes, par l'insolation des sommets et des versants boisés, et par le rayonnement de la chaleur, qui dépend du relief des montagnes, de leur masse puissante, ou de leur forme élancée en cône et en pyramide. L'élévation particulière de la région des nuages, la couverture de neige et de glace dont le niveau varie avec la limite des neiges éternelles, la fréquence des courants qui, à certaines heures du jour, descendent les pentes escarpées des montagnes et rafraîchissent l'atmosphère, changent l'effet du rayonnement terrestre. A mesure que se refroidit la crète dentelée des montagnes, il se forme de bas en haut, à l'intérieur, un courant de calorique qui s'efforce, sans pouvoir y parvenir, de rétablir l'équilibre. En reconnaissant que la répartition verticale de la chaleur est fonction de tant de causes différentes, on est amené, sur la complication et la connexion de ces phénomènes locaux, à des conjectures fondées, mais non à des déterminations numériques directes. Il peut souvent se mêler aux sources de montagnes, dont les plus hautes surtout sont soigneusement recherchées par les chasseurs de chamois, des eaux étrangères, qui tombent de plus haut et amènent avec elles la température plus basse des couches supérieures, ou qui partant, au contraire, de plus bas, communiquent à la source une température plus élevée. Des observations faites par Wahlenberg sur ces sources, Kaemtz tire la conclusion qu'il faut, dans les Alpes, s'élever de 900 à 960 pieds pour voir la température des sources baisser d'un degré. Les

expériences plus nombreuses et plus circonspectes que Hermann et Adolphe Schlagintweit ont faites dans les Alpes Karinthiques orientales et dans les Alpes suisses occidentales, sur le Mont-Rose, donnent seulement 720 pieds. D'après le grand travail de ces excellents observateurs (47), l'abaissement de la température des sources est, dans tous les cas, plus lent que celui de la température moyenne annuelle de l'air, qui, sur les Alpes, est de 1 degré pour 540 pieds. A égalité de niveau, les sources sont, dans ces montagnes, plus chaudes que la température atmosphérique moyenne, et cette différence croît avec la hauteur. La température même du sol n'est point la même, à hauteur égale, dans toute la chaîne des Alpes; les lignes isothermes qui unissent les points d'égale température des sources se relèvent d'autant plus au-dessus du niveau de la mer, abstraction faite de la latitude géographique, que le gonflement moyen du sol environnant est plus considérable. Tout cela est d'ailleurs conforme aux lois de la distribution de la chaleur dans un corps solide, dont les parties diffèrent entre elles en hauteur et en épaisseur; et c'est à quoi l'on peut comparer le relief des Alpes.

Dans la chaîne des Andes, et précisément dans la partie volcanique qui présente les élévations les plus considérables, les thermomètres enfouis au-dessous de la surface du sol peuvent en certains cas, par l'influence de circonstances locales, conduire à des résultats erronés. J'avais cru d'abord que les crêtes de ro-

chers qui traversent la région des neiges, et que l'on voit de loin se détacher en noir, ne doivent pas toujours à leur seule configuration et à leur escarpement leur complète nudité. Convaincu que ce phénomène avait d'autres causes encore, j'enfonçai une boule de thermomètre à trois pouces dans le sable qui remplissait une crevasse d'une de ces crêtes de rochers. J'étais sur le Chimborazo à 17 160 pieds de hauteur, 3 350 pieds au-dessus de la cime du Mont-Blanc; le thermomètre marqua constamment 5°,8, tandis que l'air n'était qu'à 2°,7. Le résultat de cette observation a quelque importance; car déjà, 2 400 pieds plus bas, sur le volcan de Quito, à la limite inférieure des neiges éternelles, Boussingault et moi avons trouvé, à la suite d'un grand nombre d'expériences, que la chaleur moyenne de l'atmosphère ne dépasse pas 1°,6. La température terrestre indiquée plus haut, 5°,8, doit donc être attribuée à la chaleur entretenue dans la montagne formée de dolérite, non pas par la masse même de la montagne, mais par les courants d'air qui montent dans l'intérieur. Il existe d'ailleurs, au pied du Chimborazo, à 8 900 pieds de hauteur, près du village de Calpi, un petit cratère d'éruption, le Yana-Urcu, qui paraît avoir été en activité vers le milieu du xve siècle, ainsi qu'en témoigne sa roche noire et scorifiée (porphyre augitique) (48).

L'aridité de la plaine au milieu de laquelle s'élève le Chimborazo, et le ruisseau souterrain dont on entend le murmure au-dessous de la colline volcanique

du Yana-Urcu ont, à des époques très-différentes, fait naître chez Boussingault et chez moi cette pensée que les eaux produites chaque jour par la fonte des neiges, près de la limite inférieure des neiges éternelles, s'infiltrent dans les profondeurs du sol par les crevasses et les cavernes des volcans (49). Ces eaux refroidissent incessamment les couches à travers lesquelles elles se précipitent. Sans elles les montagnes de dolérite et de trachyte, même alors que rien ne fait craindre une éruption prochaine, tireraient de leur foyer volcanique, situé peut être à des profondeurs inégales sous les différentes latitudes, mais toujours en activité, une température intérieure encore plus haute. Ainsi, grâce à ces influences alternatives d'échauffement et de refroidissement, un flux de chaleur règne sans discontinuer de haut en bas et de bas en haut, surtout dans les lieux où les montagnes élèvent leurs pics aigus au milieu des airs.

Mais l'aire des montagnes et des hautes cimes qui les dominent occupe bien peu de place, comparée au relief des continents, et de plus on sait que le fond des mers forme les deux tiers de toute la surface terrestre. D'après l'état actuel des découvertes géographiques dans les deux hémisphères, la mer est à la terre environ comme 8 est à 3. Le fond de la mer est en contact immédiat avec des couches d'eau qui, faiblement salées et se superposant dans l'ordre des densités, dont le maximum est à 3°,94, ont une température presque glaciale. Les observations précises de Lenz et de Du Petit-Thouars ont montré qu'au

milieu des tropiques, dans les parages de l'Océan où le thermomètre marque, à la surface, 26° ou 27° de chaleur, on a pu tirer d'une profondeur de sept ou huit cents brasses, de l'eau à 2° 1/2, d'où l'on doit conclure l'existence de courants sous-marins qui conduisent l'eau froide des pôles vers l'équateur. Ce refroidissement continuel des régions inférieures de l'Océan, qui porte sur la plus grande partie de la surface terrestre, a des conséquences plus dignes de remarque qu'on ne l'a pensé jusqu'ici. Les écueils et les îles peu étendues qui sortent du lit de la mer et s'élèvent jusqu'à la surface des eaux, les étroites langues de terre qui, comme l'isthme de Panama et de Darien, sont baignées par les grandes mers, doivent offrir, dans les couches superposées dont elles se composent, une autre distribution de la chaleur que des contrées d'égale étendue et de masse égale, situées à l'intérieur des continents. Dans une île montagneuse très-élevée, la partie sous-marine est en contact avec l'élément liquide dont la température va en croissant de bas en haut, mais dès que les couches terrestres cessent d'être baignées par les flots et entrent dans l'atmosphère, elles sont soumises à l'influence de l'insolation et du libre rayonnement du calorique latent, et se trouvent en contact avec un fluide gazeux dont la température décroît avec la hauteur. Les mêmes relations de température croissante et décroissante suivant la direction verticale se représentent dans l'étroit Ust-Urt qui sépare deux grandes mers méditerranéennes, la mer Caspienne et

le lac d'Aral. Pour éclaircir ces phénomènes compliqués, il faut employer exclusivement les moyens qui nous font directement connaître la chaleur interne de la Terre, tels que les puits artésiens creusés à une grande profondeur. Il serait dangereux de se borner à mesurer la température des sources ou celle de l'air dans les cavernes; cela donnerait des résultats aussi peu sûrs que la température de l'air renfermé dans les galeries et dans les chambres des mines.

Lorsque l'on compare des plaines basses avec un plateau montagneux ou des croupes de montagnes escarpées, hautes de plusieurs milliers de pieds, on reconnaît que la loi de la chaleur croissante ou décroissante ne dépend pas uniquement des hauteurs verticales relatives. Si dans l'hypothèse d'un changement déterminé de température pour un certain nombre de pieds, on mesurait la distance en hauteur qui sépare la plaine et le sommet de la montagne, soit en partant de la plaine, soit en partant du sommet, on trouverait, dans le premier cas, le sommet trop froid; dans le second cas, la couche qui, à l'intérieur de la montagne, est de niveau avec la surface de la plaine, beaucoup trop chaude. La distribution de la chaleur dans les ondulations de la surface terrestre dépend, ainsi qu'on l'a vu plus haut, de la force, de la masse et de la conductibilité, de l'insolation et du rayonnement de la chaleur vers des couches d'air transparentes ou chargées de nuages, du contact et du jeu des courants d'air ascendants et descendants. — D'après ces conjectures, il devrait y avoir, à des hauteurs de quatre

à cinq mille pieds seulement, un grand nombre de sources dont la température dépasserait de 40 à 50 degrés la température moyenne de la plaine. Combien ne serait-ce pas plus vrai encore sous les tropiques, au pied des montagnes, qui, à 14000 pieds de hauteur, sont encore libres des neiges éternelles, et ne présentent souvent aucune roche volcanique, mais seulement du gneiss et du schiste micacé (50). Le grand mathématicien Fourier, vivement intéressé par la description de la plaine d'où fit éruption le Jorullo, dans laquelle il était impossible de découvrir, à plusieurs centaines de milles carrés à la ronde, aucune trace extraordinaire de chaleur terrestre, s'est occupé, sur ma prière, dans l'année même qui a précédé sa mort, de résoudre cette question : comment, lors des soulèvements de montagne et des changements qui surviennent dans la surface de la Terre, les bandes isothermes s'équilibrent-elles avec la nouvelle forme du sol? le rayonnement latéral de couches situées au même niveau, mais inégalement couvertes, est plus important pour la distribution de la chaleur que ne l'est, dans les lieux où l'on distingue facilement la superposition des couches, l'inclinaison des surfaces qui les séparent.

J'ai déjà dit ailleurs que les sources thermales situées aux environs de l'ancienne Carthage, vraisemblablement les sources de Pertusa, les *aquæ calidæ* de Hammam el Enf, amenèrent saint Patrice, évêque et martyr, à discerner les vraies causes des

différences de température dans les eaux jaillissantes (51). A cette question, faite d'un ton dérisoire, par le proconsul Julius : *quo auctore fervens hæc aqua tantum ebulliat?* Patrice répondit en développant la théorie de la chaleur centrale « qui cause les éruptions de l'Etna et du Vésuve, et échauffe les sources d'autant plus qu'elles viennent de plus bas. » Le Pyriphlegeton de Platon n'était autre que l'enfer pour le savant évêque; mais comme s'il eût voulu rappeler un des enfers froids des Bouddhistes, en dépit des lois de la physique, il admet par dessus le marché, pour l'éternel supplice des impies, *aquam gelidissimam concrescentem in glaciem.*

Les sources thermales qui approchent du point d'ébullition de l'eau et s'élèvent à la température de 90 degrés sont beaucoup plus rares qu'on ne l'admet généralement d'après des expériences inexactes; du moins elles ne se trouvent qu'aux environs des volcans en activité. J'ai été assez heureux pour pouvoir examiner, dans mon voyage en Amérique, deux des plus importantes de ces sources, toutes deux situées sous les tropiques. Les *aguas de comangillas* sortent d'une montagne formée de basalte et de brèches basaltiques, située au Mexique, près de Chichimequillo, non loin des riches mines d'argent de Guanaxuato, par 21° de latitude boréale (52). Je les trouvai, en septembre 1803, à 96°,4. Cette masse de basalte a percé, sous forme de filon, un porphyre colonnaire qui lui-même repose sur un dépôt de syénite blanche, riche en quartz. Plus haut,

mais à peu de distance de cette source presque bouillante, près de los Joares et au nord de Santa Rosa de la Sierra, la neige tombe déjà à la hauteur de 8 160 pieds, du mois de décembre au mois d'avril, et les indigènes font de la glace toute l'année par l'effet du rayonnement, dans des bassins préparés pour cet usage. Sur le chemin de Nueva Valencia, dans les *valles de Aragua*, à Portocabello, par 10° 15′ de latitude environ, j'ai vu les *aguas calientes de las Trincheras* jaillir, sur le versant septentrional de la chaîne côtière de Venezuela, d'un granite stratifié qui ne passe pas au gneiss. J'ai trouvé cette source dans le mois de février 1800, à 90°,3 (53), tandis que les *baños de Mariara*, situés aussi dans les *valles de Aragua*, mais au milieu du gneiss, marquaient 59°,3. Vingt-trois ans plus tard, également au mois de février, Boussingault et Rivero ont trouvé très-exactement, dans les *baños de Mariara*, 64°,0, dans les *Trincheras de Portocabello*, à une faible hauteur au-dessus de la mer des Antilles, 92°,2 dans l'un des deux bassins, 97°,0 dans l'autre (54). La température de ces sources avait donc monté, durant l'intervalle des deux voyages, à Mariara de 4°,7, à las Trincheras de 6°,7. Boussingault a eu raison de faire remarquer que dans ce même intervalle, le 26 mars 1812, eut lieu l'effroyable tremblement de terre qui renversa la ville de Caracas. Sans doute, à la surface du sol, la commotion fut moins violente auprès du lac de Tacarigua, où est située Nueva Valencia; mais n'est-il pas croyable

qu'à l'intérieur de la Terre où des vapeurs élastiques agissent sur les crevasses, un mouvement qui se propage si loin et avec une telle violence a pu facilement changer le réseau des failles et ouvrir des canaux qui amènent les eaux de plus bas. Les eaux thermales de las Trincheras, qui sourdent d'une formation granitique, sont presque pures ; elles ne contiennent en effet qu'une petite quantité de silice en dissolution et du gaz acide hydrosulfurique (hydrogène sulfuré), mêlé d'un peu d'azote. Après plusieurs cascades très-pittoresques et entourées d'une végétation luxuriante, elles forment le *Rio de Aguas calientes*, rempli, près du lac, de crocodiles attirés par la chaleur très-forte encore, quoique sensiblement diminuée. C'est aussi du granite que, dans la partie la plus septentrionale de l'Inde, s'échappe la source brûlante de Jumnotri, qui atteint 90° ; comme elle est située sur une hauteur de 10 180 pieds, où la pression atmosphérique est diminuée, cette température se trouve être à peu près le point d'ébullition de l'eau (55).

Parmi les sources chaudes intermittentes, celles qui servent en Islande à cuire les aliments, surtout le grand Geyser et le Strokkr, sont à bon droit célèbres. D'après les belles recherches auxquelles se sont livrés, dans ces derniers temps, Bunsen, Sartorius de Waltershausen et Descloiseaux, la température de ces deux jets d'eau diminue d'une manière remarquable, durant leur ascension. Le Geyser possède un cône tronqué de vingt-cinq à trente pieds de hauteur, formé de couches horizon-

tales de silice concrétionnée. Dans ce cône est creusé un bassin plat, de 52 pieds de diamètre, au milieu duquel le tube, d'un diamètre trois fois moindre, qui donne passage à la source, s'enfonce entre des parois verticales, à une profondeur de 70 pieds. La température de l'eau qui remplit continuellement le bassin est de 82°. A des intervalles très-réguliers d'une heure vingt minutes ou d'une heure et demie, un bruit semblable au tonnerre indique, dans le fond de la source, le commencement de l'éruption. Les jèts d'eau d'une épaisseur de neuf pieds, parmi lesquels trois, plus grands que les autres, se succèdent immédiatement, s'élèvent jusqu'à 100 et quelquefois 140 pieds. A 68 pieds de profondeur, très-peu de temps avant l'éruption, la température de l'eau déjà engagée dans le tube a été trouvée de 127° ; elle était de 124°, 2 pendant l'éruption. Presque aussitôt après elle tombait à 122°, et n'était plus à la surface du bassin que de 84° à 85°. Le Strokkr, également situé au pied du Bjarnafell, a une moindre masse d'eau que le Geyser. Les concrétions qui forment les bords du bassin n'ont que quelques pouces en hauteur et en largeur. Les éruptions sont plus fréquentes que dans le Geyser, mais elles ne s'annoncent pas par des détonations souterraines. Dans le Strokkr, la température est, à 40 pieds de profondeur, immédiatement avant l'éruption, de 113° ou 115°; à la surface du sol elle n'est plus guère que de 100°. Le jaillissement de ces sources intermittentes et les légères modifications qui peuvent s'opérer dans le caractère des phéno-

mènes sont tout à fait indépendants des éruptions de l'Hécla; celles de 1845 et 1846 n'ont causé aucune suspension ni aucun trouble (56). Bunsen, avec la sagacité qu'il apporte toujours à l'observation et à la discussion des faits naturels, a contredit les hypothèses antérieures sur les éruptions périodiques des Geysers, qui se préparaient, disait-on, dans des sources souterraines, vastes récipients alternativement remplis de vapeur et d'eau. D'après Bunsen, les éruptions viennent de ce qu'une partie d'une colonne d'eau située plus bas, et qui, sous la pression de vapeurs accumulées, a acquis un haut degré de température, est poussée en avant, et ne subit plus qu'une pression qui ne répond pas à cette température. Ainsi les Geysers sont des collecteurs naturels de forces élastiques.

Parmi les sources chaudes, quelques-unes seulement approchent de la pureté absolue ; d'autres contiennent en dissolution de 8 à 12 parties de matières solides ou gazeuses. Aux premières appartiennent les sources médicinales de Luxeuil, de Pfeffers et de Gastein, dont, en raison même de leur pureté, il est bien difficile de définir le mode d'action (57). Comme les sources sont principalement alimentées par les eaux pluviales, toutes contiennent de l'azote, ainsi que l'ont prouvé, Boussingault pour la source très-pure appelée *las Trincheras de Portocabello*, qui coule de roches granitiques (58), Bunsen pour la source Cornelius, à Aix-la-Chapelle, et pour le Geyser d'Islande (59). Les matières organiques qui sont en dissolution dans

plusieurs sources contiennent aussi de l'azote, quelques-unes même du bitume. Tant que l'on n'a pas su, par les expériences de Gay-Lussac et par les miennes, que les gaz dissous dans l'eau pluviale et dans la neige fondue contiennent l'un dix pour cent, l'autre huit pour cent d'oxygène, plus par conséquent qu'il n'y en a dans l'air atmosphérique, on était très-étonné de trouver, en analysant les sources de Nocera, dans les Apennins, un mélange de gaz riche en oxygène. Les analyses faites par Gay-Lussac, durant le temps que nous avons passé près de cette source alpestre, ont montré qu'elle ne renferme d'oxygène que ce que les eaux pluviales ont pu lui en communiquer (60). Si l'on est surpris de voir les dépôts siliceux mis en œuvre par la nature, comme des matériaux de construction, pour composer les appareils des Geysers, que l'on croirait être des œuvres d'art, l'étonnement diminue quand on se souvient que la silice est répandue même dans un grand nombre de sources froides, qui contiennent une très-faible quantité d'acide carbonique.

Les sources acidules et les émissions de gaz carbonique, que l'on a longtemps attribuées à des dépôts de houille et de lignite, paraissent bien plutôt le produit de l'activité volcanique, activité partout répandue, et qui ne se manifeste pas seulement dans les lieux où des roches volcaniques marquent la place d'anciennes éruptions ignées. Les émissions de gaz carbonique sont, il est vrai, le phénomène qui survit le plus longtemps, dans les volcans éteints, aux catastrophes plutoniques. Elles succèdent à la

phase d'activité des solfatares, et se produisent concurremment avec des éruptions abondantes d'eaux chargées d'acide carbonique, qui s'échappent, à des températures très-diverses, du granite, du gneiss et des montagnes d'alluvion, anciennes ou récentes. Les sources acidules se saturent de carbonates alcalins, surtout de carbonate de soude, dans tous les lieux où des eaux chargées d'acide carbonique agissent sur des roches contenant des silicates alcalins (61). Dans l'Allemagne du Nord, un grand nombre de sources aqueuses et gazeuses d'acide carbonique offrent cette particularité surprenante, que les eaux ou les gaz sortent de couches disloquées, et se font jour dans des vallées circulaires comme à Pyrmont, à Driburg, etc. Frédéric Hoffmann et Buckland ont, chacun de son côté, et presque en même temps, donné à ces dépressions du sol le nom caractéristique de vallées de soulèvement ou d'élévation (valleys of elevation).

Dans les sources communément appelées sources sulfureuses, le soufre est loin d'être toujours combiné de la même manière. Un grand nombre d'entre elles, où il n'existe point de carbonate de soude, contiennent vraisemblablement de l'hydrogène sulfuré en dissolution. Dans d'autres, au contraire, telles par exemple que les sources de l'Empereur, de Cornelius, de la Rose et de Quirinus, à Aix-la-Chapelle, les gaz que l'on obtient, en privant les eaux d'air par l'ébullition, n'en renferment aucune trace, d'après les recherches de Bunsen et de Liebig; et quant aux bulles de gaz qui, d'elles-mêmes, s'élèvent au-dessus

de l'eau, la source de l'Empereur est la seule où ces bulles contiennent 31 parties sur 100 d'hydrogène sulfuré (62).

J'ai, le premier, fait connaître le remarquable phénomène d'une source thermale donnant naissance à toute une rivière chargée d'acide sulfurique, à la rivière de Vinaigre (rio Vinagre), nommée par les indigènes Pusambio. Le rio Vinagre, jaillit à 10 000 pieds de hauteur environ du versant Nord-Ouest du volcan Purace, au pied duquel est bâtie la ville de Popayan. Il forme trois cascades pittoresques (63). J'ai représenté une de ces cascades, qui tombe verticalement de trois cents pieds de haut, le long d'un mur escarpé de trachyte. Du point où il reçoit cette petite rivière jusqu'aux embouchures du Pindamon et du Palacé, c'est-à-dire sur une distance de deux à trois milles, le rio Cauca ne nourrit aucun poisson; grave inconvénient pour les habitants de Popayan, qui pratiquent sévèrement les abstinences religieuses. D'après l'analyse qu'en a faite Boussingault postérieurement à mon voyage, les eaux du Pusambio contiennent une grande quantité d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique, avec un peu de sulfate de soude. Près de la source, Boussingault a trouvé 72°,8. La partie supérieure du Pusambio est souterraine. Dans le paramo de Ruiz, sur la pente du volcan du même nom, auprès des sources du rio Guali, Degenhardt, de Clausthal dans le Harz, dont les géologues regrettent la mort prématurée, a découvert, en 1846, à 11 400 pieds de hauteur, une source thermale, dans

laquelle Boussingault a trouvé trois fois autant d'acide sulfurique que dans le rio Vinagre.

La constance de la température et de la composition chimique des sources, qui ne s'est pas en général démentie, aussi loin que remontent les observations dignes de confiance, est un fait beaucoup plus remarquable encore que les changements qui ont pu être constatés çà et là (64). Les sources d'eaux chaudes qui, dans leur cours long et compliqué, empruntent aux roches avec lesquelles elles entrent en contact tant d'éléments divers, pour les reporter souvent à d'autres roches qui en sont dépourvues, ont encore une tout autre efficacité : elles transforment et elles créent. Elles sont, à ce point de vue, d'une haute importance géologique. Senarmont a montré, avec sa merveilleuse sagacité, à quel point il est vraisemblable qu'un grand nombre de failles, donnant autrefois passage aux eaux thermales, aient été remplies de bas en haut par le dépôt des éléments que ces eaux tenaient en dissolution. Les changements de pression et de température, les influences électro-chimiques intérieures et l'attraction spécifique des parois latérales, ont produit dans les fissures et les cavités traversées par les fluides, tantôt des divisions lamellaires, tantôt des formations concrétionnées. Des druses en forme de filons et des amygdaloïdes poreuses paraissent devoir en partie leur origine à ces causes. Dans les endroits où les différentes couches sont superposées en zones parallèles, ces zones sont constituées, d'ordinaire, de manière à se répondre symétriquement, quand on

compare les toits et les murs de deux *salbandes*. Senarmont, qui a apporté à la chimie une si merveilleuse faculté d'invention, a réussi à composer artificiellement un nombre considérable de minéraux, par des moyens de synthèse tout à fait analogues aux procédés de la nature (65).

Un observateur distingué, qui m'est bien cher, publiera bientôt, je pense, un travail nouveau et important sur les relations thermométriques des sources, où il éclaircit avec beaucoup de sagacité, et de la manière la plus générale, le phénomène complexe des perturbations, par la méthode d'induction fondée sur de nombreuses expériences. Dans les observations qu'il a faites, de 1845 à 1853, sur la température des sources, en Allemagne, près des bords du Rhin, et, en Italie, aux environs de Rome, sur le mont Albano et dans les Apennins, Edouard Hallmann distingue : 1° Les sources purement météorologiques, dont la température moyenne n'est point accrue par la chaleur interne de la Terre; 2° les sources météorologico-géologiques qui, indépendantes de la distribution de la pluie, et plus chaudes que l'air, ne subissent d'autres variations de température que celles qui proviennent des couches du sol qu'elles traversent; 3° les sources froides anormales, qui apportent leur basse température de hauteurs considérables (66). A mesure que, dans ces derniers temps, on a pu, par une heureuse application de la chimie, pénétrer plus avant dans la connaissance géognostique de la formation et de la métamorphose des ro-

ches, on a dû attacher plus d'importance à l'observation des sources chargées de sels et de gaz, qui circulent à l'intérieur de la Terre, et qui, lorsqu'elles répandent à la surface leurs eaux thermales, ont déjà exercé, en créant, en transformant, en détruisant, la plus grande partie de leur activité.

SOURCES DE VAPEUR ET DE GAZ. — SALSES. — VOLCANS DE BOUE, FEUX DE NAPHTE.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 252-255, note 10, et 528, note 25.)

Dans le premier volume du *Cosmos*, j'ai montré, par les exemples de phénomènes trop peu observés jusqu'ici, mais dont on connaît bien cependant les caractères essentiels, comment les salses, si l'on suit les différentes phases de leur activité, depuis les éruptions accompagnées de flammes jusqu'à la période calme de l'émission des boues, sont une sorte d'intermédiaire entre les sources chaudes et les volcans proprement dits, qui rejettent des terres en fusion sous la forme de scories désagrégées ou de roches nouvelles, souvent superposées plusieurs fois sur elles-mêmes. Comme tout ce qui sert d'intermédiaire et de transition dans la nature organique ou inorganique, les salses et les volcans de boue méritent une attention particulière et plus sérieuse que ne la leur ont accordée les anciens géognostes, faute d'une connaissance assez particulière de ces phénomènes.

Quelquefois les salses et les sources de naphte sont réunies en groupes serrés et isolés, comme les Mala-

cubi, en Sicile, près de Girgenti, dont Solin fait déjà mention, ou comme celles que l'on voit près de Pietra-Mala, près de Barigazo, et sur le Monte Zibio, situé non loin de Sassuolo, dans le nord de l'Italie, ou à Turbaco, dans l'Amérique du Sud. D'autres sont rangées les unes à la suite des autres sur des files étroites; ce sont les plus importantes et les plus curieuses. On connaissait depuis longtemps, aux extrémités de la chaîne du Caucase : du côté du Nord-Ouest les volcans de boue de Taman, au Sud-Est les sources de naphte et les feux de naphte de Bakou et de la presqu'île caspienne d'Apscheron (67). Abich, si versé dans la connaissance de la partie caucasienne de l'Asie Mineure, est le premier qui ait saisi la grandeur et la liaison de ces phénomènes. Selon lui, les volcans de boue et les feux de naphte du Caucase sont disposés sur des lignes déterminées, faciles à reconnaître, et qui sont dans un rapport incontestable avec les axes de soulèvement des strates et le sens de leur dislocation. Les volcans de boue, les émanations de naphte et les puits salés, occupent, dans la partie Sud-Est de la chaîne, l'espace de 240 milles carrés, représentant un triangle isocèle, dont la base serait le littoral de la mer Caspienne, depuis Balachani, au nord de Bakou, jusqu'à l'une des embouchures du Kour (l'ancien Araxes), voisine des sources thermales de Sallian. Le sommet de ce triangle est situé près de Schagdagh, dans la haute vallée de Kinalughi. Là, sur la limite d'une formation de dolomite et de schiste, à 7 834 pieds de hauteur au-dessus de la mer

Caspienne, près du village même de Kinalughi, font éruption les feux éternels de Schagdagh, qu'aucun événement météorologique n'a jamais éteints. L'axe moyen de ce triangle répond à la direction que paraissent suivre constamment les tremblements de terre, si fréquents à Schamacha, sur la rive du Pyrsagat. Si l'on s'avance plus loin vers le Nord-Ouest, on rencontre les sources sulfureuses thermales d'Akti, sur une ligne qui se confond avec la crête principale du Caucase, à l'endroit où cette chaîne s'élève pour donner naissance au Kasbegk et sert de limite au Daghestan occidental. Les salses des basses terres, souvent rangées régulièrement à la suite les unes des autres, augmentent peu à peu en nombre, à mesure que l'on approche du littoral de la mer Caspienne, entre Sallian, l'embouchure du Pyrsagat, voisine de l'île Swinoi, et la presqu'île Apscheron. Ils offrent les traces d'éruptions de boue successives, et portent à leur sommet de petits cônes, semblables pour la forme à ceux du Jorullo dans le Mexique, d'où s'échappe un gaz inflammable, qui souvent même s'enflamme spontanément. Des éruptions ignées considérables se sont produites en grand nombre, surtout entre 1844 et 1849, sur l'Oudplidagh, le Nahalath et le Tourandagh. Tout près de l'embouchure du Pyrsagat, sur le volcan boueux appelé Toprachali, on trouve des quartiers de marne noire, qu'on pourrait prendre à première vue pour du basalte compacte ou pour de la dolérite à grain très-fin, et qui sont l'indice d'un accroissement anormal et très-considérable dans l'intensité de la chaleur

souterraine. Sur d'autres points, dans la presqu'île Apscheron, Lenz a trouvé des débris scorifiés, qui paraissaient avoir été rejetés par des volcans, et le 7 février 1839, lors de la grande éruption ignée du Baklichli, les vents emportèrent à une grande distance de petites boules creuses, semblables aux matières appelées cendres, dans les volcans proprement dits (68).

A l'extrémité Nord-Ouest, vers le bosphore Cimmérien, sont situés les volcans boueux de la presqu'île Taman, qui forment, auprès de Kertsch, un même groupe avec ceux d'Aklanisowka et de Ienikalé. L'une des salses de Taman a donné, le 27 février 1793, le spectacle d'une éruption de boue et de gaz, dans laquelle, à la suite de plusieurs détonations souterraines, une colonne de feu, à demi voilée dans un brouillard noir, formé peut-être par une épaisse vapeur d'eau, s'est élevée à plusieurs centaines de pieds. Un fait remarquable, et de nature à jeter du jour sur la nature des *volcancitos* de Turbacó, c'est que le gaz analysé en 1811 par Frédéric Parrot et par Engelhardt n'était pas inflammable, tandis que celui qu'a recueilli Gœbel sur le même lieu, 23 ans plus tard, jetait, à l'extrémité d'un tube de verre, une flamme bleuâtre, comme tous les gaz qui s'échappent des salses dans la partie Sud-Est du Caucase, et a donné, à la suite d'une analyse exacte, 92,8 pour cent d'hydrogène carboné et 5 pour cent d'acide carbonique (69).

Les éruptions de vapeurs chargées d'acide borique,

qui ont lieu dans les marennes de la Toscane, à Possara, à Castel-Nuovo, sur le Monte Cerboli, et forment ce que l'on appelle *lagoni*, *fummarole*, *soffioni*, *volcani*, sont des phénomènes différents des éruptions de salses par les effets qu'ils produisent, mais certainement d'origine analogue. Les vapeurs ont en moyenne une température de 96° à 100°, qui même, d'après Pella, s'élève sur certains points à 175°. Une partie s'échappe directement des crevasses des roches, une autre de flaques d'eau d'où elles font surgir de petits cônes d'argile liquide. On les voit se diviser dans l'air en tourbillons blanchâtres. Il est impossible de recueillir l'acide borique qui s'échappe du sein de la Terre avec la vapeur d'eau, en faisant passer dans de grands tubes les vapeurs des *soffioni;* sa volatilité est telle qu'il se dissipe dans l'atmosphère. On ne peut l'obtenir que dans les beaux établissements du comte de Larderel, en couvrant immédiatement les orifices des *soffioni* avec des réservoirs d'eau qui absorbent les vapeurs (70). D'après l'excellente analyse de Payen, les émanations gazeuses contiennent 0,57 d'acide carbonique, 0,35 d'azote, 0,07 seulement d'oxygène et 0,001 d'acide sulfurique. A l'endroit où les vapeurs d'acide borique passent à travers les crevasses de la roche, elles déposent du soufre. Les recherches de sir Roderick Murchison ont établi que la roche est en partie crétacée, en partie une formation éocène contenant des nummulites, un *Macigno*, dont on voit dans les environs, près de Monte Rotondo, les couches brisées par un soulève-

ment de serpentine (71). Ne serait-ce pas, dit Bischof, qu'ici, comme dans le cratère de Vulcano, des vapeurs d'eau chaude agissent, à une grande profondeur par la décomposition, sur des minéraux boratés et sur des roches riches en datolithe, en arinite et en tourmaline (72).

Le système des *soffioni* de l'Islande dépasse, par le nombre et la grandeur des phénomènes, tout ce que nous connaissons sur le continent. Au milieu du champ de fumaroles de Krisuvek et de Reykjalidh de véritables sources de boue se font jour à travers une argile d'un bleu grisâtre, et s'élancent du milieu de petits bassins, entourés de bords semblables aux bords des cratères (73). Ici encore on peut suivre les failles qui livrent passage aux sources dans des directions déterminées (74). Grâce à la sagacité et aux efforts persévérants de Bunsen, l'Islande est de tous les pays du monde, possédant des sources thermales, des salses et des éruptions de gaz, celui sur lequel nous avons les analyses chimiques les plus sûres et les plus complètes. Nulle part il n'existe une grande étendue de pays offrant, très-près sans doute de la surface du sol, un jeu aussi complexe de décompositions chimiques, de transformations et de productions nouvelles.

Si de l'Islande nous passons sur le continent américain qui en est peu éloigné, nous trouvons dans l'État de New-York, à peu de distance de Fredonia et du lac Érié, dans un bassin de couches de grès dévonien, un nombre infini de sources de gaz inflam-

mable formé d'hydrogène carboné, qui sortent des fentes de la Terre et qui sont en partie utilisées pour l'éclairage. Près de Rushville, d'autres sources de gaz inflammable affectent la forme de cônes boueux ; d'autres enfin dans la vallée de l'Ohio, dans la Virginie et sur le rio Kentucky contiennent du sel marin et ont ainsi du rapport avec de faibles sources de naphte. Au delà du golfe des Antilles, sur la côte Nord de l'Amérique méridionale, à 2 milles et demi au sud-sud-est du port de Cartagena de Indias, se présente, près du charmant village de Turbaco, un remarquable groupe de salses ou de volcans boueux, dont j'ai pu donner la première description. Les *volcancitos*, au nombre de 18 ou 20, s'élèvent sur une plaine déserte, située au milieu d'une antique forêt, d'où le regard embrasse, dans toute sa magnificence, le colosse neigeux de Santa-Marta. Les plus grands de ces cônes, formés de terre glaise d'un gris noir, ont 18 à 22 pieds de hauteur, et au moins 80 pieds de diamètre à la base. Au sommet, se trouve un orifice circulaire de 5 à 7 pieds de circonférence, entouré d'un petit mur de boue. Le gaz sort avec violence, comme à Taman, sous la forme de bulles, dont chacune, ainsi que je m'en suis assuré en les mesurant dans des vases gradués, a une capacité de 10 à 12 pouces cubiques. La partie supérieure de l'entonnoir est remplie d'eau reposant sur une épaisse couche de vase. Les éjections des cônes voisins n'ont pas lieu simultanément ; dans tous cependant on remarque une certaine régularité. En nous tenant, Bonpland et moi,

aux deux extrémités du groupe, nous avons compté assez exactement 5 éruptions toutes les deux minutes. Lorsque l'on se penche sur l'ouverture des crevasses, on entend, 20 minutes ordinairement avant chaque éruption, une détonation sourde dans l'intérieur de la terre, à une grande profondeur au-dessous du sol. Le gaz qui s'échappait du cratère, et que l'on recueillit très-soigneusement à deux reprises, éteignit instantanément une bougie très-mince; il en fut de même d'un tison de Bombax Ceiba. Le gaz n'était pas inflammable; l'eau de chaux n'en fut pas troublée et il ne s'opéra aucune absorption. Traité par le bioxyde d'azote, le gaz des *volcancitos* ne laissa voir, à la première expérience, aucune trace d'oxygène; dans un second essai, on trouva un peu plus de 0,01 d'oxygène, mais le gaz était resté plusieurs heures enfermé avec de l'eau sous une cloche de verre, et vraisemblablement l'oxygène dégagé par l'eau s'était mêlé accidentellement au gaz recueilli.

D'après les résultats de ces analyses, je déclarai, à cette époque, que le gaz des *volcancitos* de Turbaco était de l'azote, auquel pouvait se mêler une petite quantité d'hydrogène, en quoi je ne me trompai pas tout à fait. En même temps j'exprimais dans mon Journal le regret que la chimie, telle qu'elle était au mois d'avril 1801, ne fournît aucun moyen de déterminer numériquement, dans un mélange d'azote et d'hydrogène, le rapport de chaque partie. Le procédé qui permet de reconnaître, dans un mélange de gaz, la présence de 0,003 d'hydrogène ne fut trouvé que

quatre ans plus tard par Gay-Lussac (75). Depuis un demi-siècle que j'ai quitté Turbaco, et relevé astronomiquement le rio de la Magdalena, aucun voyageur n'a étudié les volcans de boue que j'ai décrits plus haut, si ce n'est, à la fin de décembre 1850, un de mes amis, au courant de toutes les découvertes récentes en géognosie et en chimie, Joaquin Acosta (76), auquel on doit ces remarques dignes d'attention, que présentement les cônes répandent une odeur bitumineuse, qu'un peu de pétrole nage à la surface de l'eau enfermée dans les petites ouvertures, et que le gaz qui s'élève de tous les monticules boueux est inflammable. Je n'avais trouvé rien de semblable, et Acosta demande si l'on doit conclure de là que le phénomène a été modifié par suite d'un travail intérieur, ou qu'il y a eu erreur dans les premières expériences. Je reconnaîtrais de grand cœur que je me suis trompé, si je n'avais pas conservé la feuille du Journal sur laquelle j'ai consigné tous les détails des expériences, dans la matinée même où je les ai faites (77); je n'y trouve rien qui puisse me donner le plus léger doute. Si d'ailleurs on songe que d'après le rapport de Parrot, le gaz des volcans boueux de la presqu'île de Taman éteignait en 1811 un tison ardent, et que l'on ne pouvait enflammer les bulles, épaisses d'un pied, qui sortaient des orifices, au moment où elles crevaient; si l'on rapproche ces expériences de celles de Gœbel, qui en 1834, a vu sur le même lieu le gaz prendre feu facilement, et jeter une flamme claire et bleuâtre, rien n'empêche d'admettre que

les émanations gazeuses peuvent, à différentes époques, subir des changements chimiques. Tout récemment, Mitscherlich a déterminé, à ma prière, la limite à laquelle cessent d'être inflammables des mélanges d'azote et d'hydrogène composés artificiellement. Il a constaté qu'un mélange de 1 partie d'hydrogène et de 3 parties d'azote, non-seulement s'enflamme à l'approche d'une lumière, mais continue de brûler. Si l'on augmente la quantité d'azote, de manière que les deux gaz soient dans le rapport de 1 à 3 1/2, le mélange s'enflamme encore, mais ne continue pas de brûler. Il faut que l'hydrogène soit à l'azote comme 1 est à 4, pour que l'inflammation devienne impossible. Les émissions de gaz que, en raison de leur facilité à s'enflammer et de leur couleur claire, on appelle ordinairement des courants d'hydrogène pur ou carboné, n'ont besoin par conséquent de contenir qu'un tiers de l'un ou de l'autre de ces gaz. Quant aux mélanges plus rares d'acide carbonique et d'hydrogène, la capacité de l'acide carbonique pour la chaleur déplace la limite où ils cessent d'être inflammables. Acosta a très-judicieusement posé cette question : « une tradition répandue parmi les indigènes de Turbaco, qui descendent des *Indios de Turuaco*, d'après laquelle tous les *volcancitos* ont brûlé jadis, et les *volcanes de Fuego* ont été transformés en *volcanes de Agua* par les aspersions et les exorcismes d'un moine, ne ferait-elle pas allusion à un état passé qui aurait reparu (78)? » Les grandes éruptions de flammes

vomies par des volcans de boue qui sont redevenus après aussi pacifiques qu'ils l'étaient auparavant, comme on en a vu à Taman, en 1793; sur les bords de la mer Caspienne, à Jokmali, en 1827; à Baklichli, en 1839; enfin en 1846, près de Kutschtschy, situé également dans le Caucase, fournissent des exemples de révolutions analogues.

Le phénomène si humble en apparence des salses de Turbaco a gagné une nouvelle importance géologique, grâce à la puissante éruption de flammes et au bouleversement du sol qui se sont produits en 1839, plus de 8 milles géographiques au nord-nord-est de Cartagena de Indias, entre ce port et celui de Sabanilla, près de l'embouchure du grand fleuve de la Magdalena. Le point central du phénomène était, à proprement parler, le cap Galera-Zamba qui avance d'un mille et demi ou deux milles dans la mer, et forme une étroite presqu'île; c'est encore au colonel Acosta, enlevé malheureusement aux sciences par une mort prématurée, que l'on doit la connaissance de cet événement. Au milieu de cette langue de terre était une colline en forme de cône, dont le cratère donnait de temps en temps passage à de la fumée produite par des vapeurs, et à des gaz qui s'échappaient avec assez de violence pour lancer au loin des planches et de gros morceaux de bois que l'on y jetait. En 1839, une éruption de flammes considérable fit disparaître le cône, et la presqu'île de Galera-Zamba devint une île séparée du continent par un canal de 30 pieds de profondeur. Les choses

demeurèrent en cet état jusqu'au mois d'octobre 1848, où, sans qu'il y eût dans les environs d'ébranlement sensible, une éruption ignée formidable, visible à 10 ou 12 milles de distance, se produisit de nouveau à l'endroit même où s'était faite la rupture, et se prolongea pendant plusieurs jours (79). La salse ne rejeta que des gaz sans aucun objet solide. Lorsque les flammes furent éteintes, on trouva que le sol de la mer s'était soulevé et avait formé une petite île de sable qui disparut peu de temps après. Plus de 50 *volcancitos*, c'est-à-dire plus de 50 cônes semblables à ceux de Turbaco, entourent maintenant, dans un rayon de 4 à 5 milles, le volcan de gaz sous-marin de Galera-Zamba. Au point de vue géologique, on doit considérer ce volcan comme le siége principal de l'activité volcanique qui, dans toutes les basses terres comprises depuis Turbaco jusque par delà le Delta du Rio Grande de la Magdelena, s'efforce de mettre l'intérieur du globe en contact avec l'atmosphère.

Les phénomènes, analogues entre eux, que présentent, aux différentes phases de leur activité, les salses, les volcans de boue et les sources de gaz, en Italie, dans le Caucase et dans l'Amérique du Sud, se reproduisent dans l'empire chinois, sur d'immenses étendues de pays. Depuis les temps les plus anciens, l'industrie de l'homme a su utiliser le trésor que lui offraient ces contrées. De là sont venus les ingénieux procédés de forage particuliers aux Chinois, et qui sont arrivés tard à la connaissance des Euro-

péens. Des puits artésiens sont creusés à plusieurs mille pieds de profondeur par l'application la plus simple de la force humaine, ou plutôt par le seul poids de l'homme. J'ai déjà traité de cette invention en détail (80), ainsi que des sources de feu (Ho-tsing) et des montagnes ardentes (Ho-schan) de l'Asie orientale. Depuis les provinces Youn-nan, Kouang-si et Szu-tchouan, situées à l'extrémité Sud-Ouest de l'empire, sur la limite du Thibet, jusqu'à la province septentrionale de Schan-si, on creuse le sol pour obtenir à la fois de l'eau pure, de l'eau saline et du gaz à brûler. Ce gaz donne une lumière rougeâtre, et répand souvent une odeur bitumineuse. On le conduit au loin, dans des tuyaux de bambou portatifs ou à demeure, et on s'en sert pour faire du sel, pour chauffer les maisons et éclairer les rues. Dans quelques cas rares, l'hydrogène carboné s'est trouvé épuisé ou l'émission en a été interrompue par des tremblements de terre. Ainsi, l'on sait qu'un célèbre Ho-tsing, situé au sud-ouest de Khioung-tscheou, par 50° 27′ de latitude boréale, 101° 6′ de longitude orientale, dont le jet enflammé était accompagné de bruit, s'éteignit au XIIIe siècle, après avoir éclairé toute la contrée depuis le second siècle de notre ère. Dans la province de Schan-si, où les houillères abondent, on en trouve quelques-unes enflammées : les montagnes ardentes (Ho-schan) sont répandues sur une grande partie de la Chine. En beaucoup d'endroits, par exemple dans le roc du Py-kia-schan, au pied d'une montagne couverte de neiges éternelles,

par 31°40′ de latitude, les flammes s'élancent de longues crevasses inaccessibles et montent à de grandes hauteurs. Ce phénomène rappelle les feux éternels du mont Schagdagh, dans le Caucase.

A Java, dans la province Samarang, il existe, à trois milles de la côte septentrionale, des salses semblables à celles de Turbaco et de Galera-Zamba. Des collines hautes de 25 à 30 pieds, dont la position change souvent, rejettent de la boue, de l'eau saline et un mélange peu commun d'hydrogène et d'acide carbonique (81), émission qu'il ne faut pas confondre avec les grands torrents de boue qui dévastent la contrée dans les rares éruptions des véritables volcans de Java, les gigantesques montagnes de Gounong-Kelut et de Gounong-Idjen. A Java, quelques grottes dans lesquelles des sources d'acide carbonique produisent l'asphyxie, jouissent aussi d'une célébrité qu'elles doivent en grande partie, il est vrai, aux récits fort exagérés des voyageurs, et à ce qu'on les a rattachées aux histoires fabuleuses de l'Upas, confusion contre laquelle ont protesté déjà Sykes et Loudon. La plus remarquable des six grottes dont Junghuhn a donné une description scientifique est celle que l'on a coutume d'appeler la vallée des Morts de l'Ile (Pakaraman) dans les monts Diëng, près de Batur; c'est une excavation en forme d'entonnoir, sur le penchant d'une montagne, un enfoncement, dans lequel la couche d'acide carbonique qui s'échappe du sol atteint, suivant la saison, un niveau très-différent. On y trouve souvent des squelettes de sangliers, de

tigres et d'oiseaux (82). Les émanations innocentes de l'arbre à poison, le *pohon-ûpas* ou mieux *pûhn-ûpas* des Malais, l'Antaris toxicaria du voyageur Leschenault de La Tour, sont complétement étrangères à ces effets d'asphyxie (83).

Je termine le chapitre consacré aux salses et aux sources de vapeurs ou de gaz, par le récit d'une éruption de vapeurs de soufre chaudes, qui en raison de la nature particulière de la roche d'où elles se dégagent, méritent d'attirer l'attention des géognostes. Lorsque j'explorai la cordillère centrale de Quindiu, j'employai 14 ou 15 jours à franchir la crête de la montagne, haute de 10 788 pieds, et passer de la vallée du Rio-Magdalena dans la vallée du Cauca. Dans cette ascension pénible, bien que féconde en jouissances, durant laquelle il me fallut marcher constamment à pied, et passer toutes les nuits en plein air, je visitai, à la hauteur de 6 390 pieds, l'Azufral situé à l'est de la station *el Moral.* Dans l'étroite vallée de l'Azufral (quebrada del Azufral), je vis des vapeurs chaudes s'échapper des crevasses d'un schiste micacé un peu sombre, qui repose sur une couche de gneiss grenatifère, et entoure, conjointement avec cette roche, la haute coupole granitique de la *Ceja* et de *la Garita del Paramo.* Comme ces vapeurs sont mêlées d'hydrogène sulfuré et de beaucoup d'acide carbonique, on éprouve de violents vertiges, lorsque l'on se penche pour mesurer la température, et que l'on s'arrête trop longtemps dans le voisinage. La température de la vapeur de soufre

était 47°,6; celle de l'air, 20°,6; celle du petit ruisseau sulfureux, refroidi peut être dans son cours supérieur par de la neige fondue qui coule le long du volcan de Tolima, 29°,2. Le schiste micacé qui contient un peu de pyrite, est traversé par beaucoup de débris de soufre. Le soufre que l'on prépare pour le commerce est tiré en grande partie d'une terre glaise d'un jaune d'ocre, mélangée de soufre naturel et de schiste micacé en décomposition. Les métis que l'on emploie à ce travail, éprouvent des maux d'yeux et des paralysies musculaires. Lorsque Boussingault visita en 1831, c'est-à-dire 30 ans après moi, l'*Azufral de Quindiu*, la température des vapeurs dont il a donné l'analyse chimique était tombée au-dessous de celle de l'air libre, qui était alors de 22°, et n'était plus que de 19° à 20° (84). Le même observateur a vu, dans la *Quebrada de Aguas Calientes*, la roche trachytique du volcan de Tolima perçant le schiste micacé, tout comme j'ai vu, de la manière la plus distincte, près du pont de corde de Penipe, le trachyte noir du volcan de Tunguragua recouvrir, également par suite d'une éruption, un micaschiste verdâtre grenatifère. Comme jusqu'à ce jour on n'a point trouvé de soufre en Europe dans ce que l'on appelait autrefois les terrains primitifs, mais seulement dans le calcaire tertiaire, le gypse, les conglomérats et les roches purement volcaniques, le phénomène que présente l'*Azufral de Quindiu*, par 4° 30′ de latitude boréale, est d'autant plus remarquable qu'il se reproduit au sud de l'équateur, entre Quito et Cuenca, sur le versant sep-

tentrional du *Paramo del Assuay.* Dans l'Azufral du Cerro Cuello, par 2° 13′ de latitude méridionale, j'ai rencontré à 7 438 pieds de hauteur, toujours dans le schiste micacé, un puissant dépôt de quartz, où le soufre, injecté en quantité considérable, semble former des nids d'oiseaux (85). A l'époque de mon voyage, les fragments de soufre n'avaient que 6 à 8 pouces de grosseur; plus tard on en a trouvé qui avaient un diamètre de 3 et 4 pieds. On voit même dans le golfe de Cariaco, près de Cumana, une source de naphte jaillir du lit de la mer, au milieu du schiste micacé. Le naphte colore en jaune la surface de la mer sur une longueur de plus de 1 000 pieds, et je me suis assuré que l'odeur s'en répand jusque dans l'intérieur de la presqu'île Araya (86).

Si nous jetons un dernier coup d'œil sur le mode d'activité volcanique qui se manifeste par l'émanation de vapeurs et de gaz, avec ou sans phénomènes lumineux, nous trouvons, tantôt une grande analogie, tantôt une différence surprenante entre les matières qui s'échappent du sol, suivant que la haute température intérieure, modifiant le jeu des affinités, agit sur des substances similaires ou très-complexes. Les matières que ce faible degré d'activité volcanique suffit à rejeter sur la surface de la Terre sont : la vapeur d'eau en grande quantité, le chlorure de sodium, le soufre, l'hydrogène carboné ou sulfuré, l'acide carbonique et l'azote, le naphte incolore, jaunâtre, ou sous la forme de pétrole brun, l'acide borique et l'argile des volcans boueux. Les diffé-

rences profondes qui caractérisent ces matières, dont quelques-unes cependant, telles que le sel marin, le gaz hydrogène sulfuré et le pétrole sont presque toujours réunies, prouvent combien est impropre la dénomination de *salses*, importée des États de Modène, où Spallanzani eut le mérite d'attirer le premier l'attention des géognostes sur un phénomène longtemps dédaigné. Le nom de sources de vapeurs et de gaz exprime mieux le caractère commun de ces émanations. Si un grand nombre de salses, en tant que fumaroles, se rattachent indubitablement aux volcans éteints, et comme sources d'acide carbonique, représentent une dernière phase de ces volcans, d'autres, telles que les sources de naphte, paraissent complétement étrangères aux véritables montagnes ignivomes, qui rejettent des terres en fusion. Les salses, dans ce cas, ainsi qu'Abich l'a fait voir pour le Caucase, s'échappent des fissures du sol, suivant des directions tracées par la nature, et ces longues failles sillonnent les basses plaines et même le bassin profondément déprimé de la mer Caspienne, aussi bien que des montagnes hautes de 8 000 pieds. Comme les volcans proprement dits, les salses manifestent de temps à autre le réveil subit de leur activité, en lançant dans les airs des colonnes de feu qui jettent au loin l'épouvante. Sur les deux continents, dans des contrées séparées par des intervalles immenses, elles passent par les mêmes états successifs; mais rien jusqu'ici n'autorise à croire qu'elles soient les messagers chargés d'annoncer la

naissance de véritables volcans, rejetant des laves et des scories. Leur activité est d'une autre nature; peut-être germe-t-elle à une moindre profondeur, et est-elle le résultat d'autres combinaisons chimiques.

VOLCANS CONSIDÉRÉS D'APRÈS LEUR FORME ET LES DIVERS DEGRÉS DE LEUR ACTIVITÉ. — EFFETS DES VOLCANS A TRAVERS LES CREVASSES ET LES CRATÈRES D'EXPLOSION. — ENCEINTES DES CRATÈRES DE SOULÈVEMENT. — VOLCANS EN FORME DE CÔNES ET DE CLOCHES, AVEC OU SANS OUVERTURE AU SOMMET. — DIFFÉRENTES ESPÈCES DE ROCHES A TRAVERS LESQUELLES AGISSENT LES VOLCANS.

(*Développement du Tableau général de la Nature.* — Voir le *Cosmos*, t. I, p. 255-282).

Entre les modes divers par lesquels se manifeste la réaction de l'intérieur de notre planète contre les couches supérieures, le plus puissant est celui qui appartient aux volcans proprement dits, c'est-à-dire aux ouvertures qui livrent passage non-seulement à diverses espèces de gaz, mais à des masses enflammées, spécifiquement différentes, qui sont lancées d'une profondeur immense à la surface de la Terre, sous la forme de coulées de lave, de scories et de matières pulvérisées, ce que l'on est convenu d'appeler cendres. La confusion, consacrée jadis par l'usage, des noms de volcan et de montagne ignivome, suppose que, d'après un préjugé très-répandu, on se représente toujours les volcans sous l'image d'une montagne conique isolée, avec une ouverture circulaire ou ovale au sommet; mais ces vues perdent

beaucoup de leur généralité, lorsque l'observateur a eu l'occasion de traverser des régions volcaniques s'étendant sur des espaces de plusieurs milliers de milles carrés, comme par exemple toute la partie moyenne du plateau mexicain, entre le pic d'Orizaba, le Jorullo et les côtes de la mer du Sud, ou l'Amérique centrale, ou bien les Cordillères de la Nouvelle-Grenade et de Quito, entre le volcan de Puracé près de Popayan, celui de Pasto et le Chimborazo, ou enfin l'isthme montagneux du Caucase, entre le Kasbegk, l'Elbrouz et l'Ararat. Dans l'Italie inférieure, entre les champs Phlégréens de la Campanie, la Sicile, les îles Lipari et les îles Ponza, de même que dans les îles de la Grèce, une partie du sol qui devait relier les îles au continent n'a point été soulevée, une autre partie a été engloutie par la mer.

Dans ces vastes régions volcaniques de l'Amérique et du Caucase, on rencontre des masses éruptives, formées de véritable trachyte qu'il ne faut pas confondre avec les conglomérats trachytiques, des courants d'obsidienne et des blocs fragmentaires de pierre ponce, non pas des galets de ponce entraînés et déposés par les eaux. Ces roches semblent tout à fait indépendantes des montagnes, dont elles sont d'ailleurs séparées par une distance considérable. Pourquoi, lors du refroidissement progressif, produit par le rayonnement des couches supérieures du globe, la surface terrestre ne se serait-elle pas crevassée en différents sens, avant le soulèvement des montagnes isolées ou des chaînes de montagnes? Pour-

quoi de ces crevasses, la force volcanique n'aurait-elle pas lancé des matières incandescentes, qui auraient formé, en se solidifiant, des roches éruptives, telles que le trachyte, la dolérite, le mélaphyre, la perlite, l'obsidienne et la ponce. Une partie de ces couches de trachyte ou de dolérite, disposées originairement en assises horizontales, et qui semblent être sorties des sources de la Terre à l'état de ramollissement, se sont affaissées et ont pris une situation inclinée, lors du soulèvement des montagnes en forme de cône ou de cloche (87). Ainsi, pour prendre d'abord un exemple en Europe, dans l'excavation de l'Etna, bien connue sous le nom de *Val del Bove*, qui forme une échancrure profonde à l'intérieur de la montagne, l'inclinaison des coulées de lave, alternant très-régulièrement avec des amas de cailloux, est de 25° à 30°, tandis que la lave qui couvre la superficie de l'Etna, et qui ne peut remonter au delà du soulèvement de la montagne, ne présente, d'après les déterminations très-exactes d'Élie de Beaumont, qu'une pente de 30° à 50°, en prenant comme moyenne le nombre de 30 coulées successives. Ces rapports prouvent clairement l'existence de formations volcaniques très-anciennes, rejetées de l'intérieur du sol à travers les failles qui le sillonnent avant la naissance du volcan, en tant que montagne ignivome. L'antiquité nous offre un phénomène analogue, d'autant plus remarquable qu'il s'est produit au milieu d'une vaste plaine, dans une contrée éloignée de toute espèce de volcans actifs ou éteints, dans l'île

d'Eubée, l'ancienne Négrepont : « Les violents tremblements de terre, dit Strabon, qui ont ébranlé des parties de l'île, n'ont cessé qu'au moment où la terre, s'entr'ouvrant dans la plaine de Lélante, a donné passage à un torrent de vase enflammée. » Par la vase enflammée, il faut entendre la lave (88).

Si, comme je suis disposé depuis longtemps à le croire, il faut attribuer à un premier crevassement du sol, ébranlé dans ses profondeurs, les formations les plus anciennes de roches éruptives, qui se présentent quelquefois aussi sous forme de filons, et dont la composition minéralogique est souvent tout-à-fait conforme à celle des laves plus récentes, ces crevasses ne doivent être considérées, non plus que les cratères de soulèvement qui sont venus plus tard et qui ont déjà une structure moins simple, que comme des ouvertures éruptives, et non pas comme des volcans proprement dits. Le caractère essentiel des volcans consiste dans une communication permanente entre l'atmosphère et le foyer intérieur du globe. Les volcans ont par conséquent besoin d'une structure particulière, car, ainsi que le dit très-bien Sénèque dans une lettre à Lucilius (89) : « ignis in ipso monte non alimentum habet sed viam. » Ainsi, l'activité volcanique agit en donnant au sol, par le soulèvement, une forme et une configuration nouvelles; elle n'agit pas, ainsi qu'on l'a cru longtemps d'une manière trop exclusive, comme forme constructrice, en accumulant les scories et les couches de lave. La résistance que les masses incandescentes, se

pressant en trop grande quantité contre la surface de la Terre, rencontrent dans le canal d'éruption ajoute à la puissance du soulèvement. Le sol alors se gonfle comme une vessie, ainsi que l'indique l'inclinaison régulière des couches soulevées du dedans au dehors. Une explosion semblable à celle d'une mine, en faisant sauter la partie moyenne et culminante de ce gonflement, ne produit parfois que ce que L. de Buch a nommé *cratère de soulèvement* (90), c'est-à-dire une cavité ronde ou ovale, entourée d'une enceinte de soulèvement, sorte de rempart circulaire, démantelé çà et là; mais parfois aussi l'explosion fait sortir du milieu du cratère une montagne en forme de cône ou de dôme, et c'est alors seulement que le relief du volcan est complet. Le plus souvent le faîte de la montagne est ouvert, et au fond de cette ouverture, qui forme le cratère du volcan, s'élèvent des éminences non permanentes de scories et de matières volcaniques, des cônes d'éruption petits et grands, dont, sur le Vésuve en particulier, plusieurs dépassent de beaucoup les bords du cratère de soulèvement. Mais les témoins de la première éruption, les anciens échafaudages, ne se conservent pas toujours dans l'état où je les ai décrits. Sur un grand nombre des volcans les plus puissants et les plus actifs, il est impossible de reconnaître la haute muraille de rocher qui entourait le cratère de soulèvement, dans les quelques débris qui en subsistent.

C'est un progrès récent et considérable des temps modernes non-seulement d'être arrivé, en compa-

rant des volcans séparés par de grands intervalles, à observer d'une manière exacte les détails de leurs configurations relatives, mais aussi d'avoir introduit dans le langage des expressions plus précises, pour distinguer les particularités de leur relief et les différences qui peuvent exister dans les manifestations de leur activité. Les personnes qui ne sont pas décidément ennemies des classifications, sous prétexte que pour arriver plus vite à des vues d'ensemble, on n'a pas toujours soin de faire reposer les classifications sur des inductions assez complètes, peuvent se représenter de différentes manières l'éruption de masses incandescentes et de matières solides, avec dégagement de vapeurs et de gaz. Pour aller des phénomènes simples aux phénomènes composés, je placerai en première ligne les éruptions qui se produisent à travers les failles de la Terre, et ne forment pas des rangées de cônes détachés, mais rejettent des masses volcaniques liquides ou simplement ramollies, qui se superposent par couches. De là je passerai aux éruptions à travers des cônes de conglomérats qui, sans être entourés d'enceinte, vomissent cependant des laves, comme on l'a vu durant cinq années, lorsque l'île de Lancerote fut dévastée, dans la première moitié du XVIIIe siècle. En troisième lieu, nous étudierons les cratères de soulèvement formés de couches relevées, sans cône central, qui ne livrent passage aux courants de lave qu'à travers les parois des remparts qui les entourent, et non à travers le conduit intérieur, obstrué de bonne

heure par quelque éboulement. Enfin nous arriverons aux montagnes en forme de cloche sans ouverture, ou aux cônes de soulèvement ouverts au sommet, soit que ces montagnes ou ces cônes soient entourés d'une enceinte subsistant du moins en partie, comme cela se voit sur le pic de Ténériffe, dans l'île de Feu (Fogo) et à Rocca Monfina, ou qu'ils soient complétement dépourvus de rempart et de cratère de soulèvement, comme en Islande, dans les Cordillères de Quito et dans la partie centrale du Mexique (91). Les cônes de soulèvement ouverts de cette quatrième classe entretiennent entre l'atmosphère et le foyer central de la Terre une communication, plus ou moins active à des époques indéterminées, mais permanente. Il me paraît, d'après mes propres observations, que les montagnes de trachyte et de dolérite en forme de dômes et de cloches, dont le sommet est resté fermé, sont plus nombreuses que les cônes, actifs ou non, qui ont un orifice au sommet, qu'elles sont surtout plus nombreuses que les volcans proprement dits. Les montagnes qui présentent la forme arrondie d'un dôme ou d'une cloche, comme le Chimborazo, le Puy-de-Dôme, le Sarcouy, le Rocca Monfina et le Vultur, contrastent heureusement avec les pointes aiguës du schiste ou les formes déchiquetées du calcaire, et communiquent au paysage un caractère qu'elles seules peuvent lui donner.

Dans le récit pittoresque qu'Ovide nous a laissé de la tradition relative au grand événement volcanique dont la presqu'île de Methone fut le théâtre, la

formation d'une de ces éminences en forme de cloche, sans ouverture au sommet, est décrite avec une clarté méthodique : « La violence des vents enfermés dans de sombres cavernes, et cherchant vainement une issue, tend et gonfle la surface de la Terre, comme on a coutume de gonfler, en la remplissant d'air, une vessie ou une peau de chevreau (extentam tumefecit humum). Avec le temps, le sol soulevé se durcit et conserve la forme d'une colline. » J'ai déjà fait voir ailleurs (92) comment la description du poëte romain s'accorde avec le récit que nous a laissé Aristote de ce qui arriva dans une des îles de formation nouvelle qui composent le groupe de Lipari, à Hiera, et en quoi cette description en diffère. « Le souffle puissant, déchaîné dans les régions souterraines, élève aussi une colline, mais plus tard il la brise, pour lancer au travers une pluie de cendres enflammées. » On voit clairement ici que le soulèvement précède l'éruption. A Methone, d'après Strabon, la colline, soulevée en forme de dôme, s'ouvrit aussi pour livrer passage à une éruption ignée, à la suite de laquelle une odeur agréable se répandit durant la nuit. Il est assez remarquable que cette odeur se reproduisit dans des circonstances tout à fait analogues, lors de l'éruption de Santorin, durant l'automne de 1650, et que peu de temps après, dans un sermon sur la pénitence, dont il existe une copie, un moine l'appelait un signe consolant, qui prouvait que Dieu ne voulait pas la mort de son troupeau (93). Cette bonne odeur n'indiquerait-elle pas la présence

du naphte? Kotzebue mentionne aussi cette particularité dans la Relation de son voyage en Russie, à l'occasion de l'île volcanique d'Oumnack, récemment sortie de la mer, dans l'archipel des îles Aléoutiennes, et qui lança des flammes en 1804. Lors de la grande éruption du Vésuve, le 12 août 1805, Gay-Lussac, qui l'observait avec moi, constata que le cratère enflammé exhalait de temps en temps une forte odeur bitumineuse. Je rapproche ces faits, auxquels on a donné jusqu'ici peu d'attention, parce qu'ils peuvent servir à mettre en lumière l'enchaînement qui unit toutes les manifestations de l'activité volcanique, depuis les salses et les sources de naphte jusqu'aux volcans proprement dits.

Des remparts, analogues à ceux qui entourent les cratères de soulèvement, existent aussi dans des roches qui diffèrent beaucoup du trachyte, du basalte et du schiste porphyrique. Élie de Beaumont en a trouvé dans le granite des Alpes françaises. Le massif d'Oisans, auquel appartient la plus haute cime de montagne qu'il y ait en France, le mont Pelvoux, voisin de Briançon et haut de 12109 pieds (94), forme un cirque, dont la circonférence n'a pas moins de huit milles géographiques, et au milieu duquel est situé le petit village de la Bérarde. Les murs du cirque s'élèvent à pic jusqu'à plus de 9 000 pieds de hauteur. Le rempart est en gneiss; tout l'intérieur est du granite (95). Dans les Alpes de la Suisse et de la Savoie, la même conformation se retrouve, avec des proportions moindres. Le grand plateau du Mont-Blanc, sur le-

quel Bravais et Martins ont campé pendant plusieurs jours, est un cirque fermé, dont le sol presque uni est situé à 12 020 pieds de hauteur, et au milieu duquel s'élève la pyramide colossale qui forme le sommet de la montagne (96). Les mêmes forces intestines produisent des formes semblables, bien que modifiées par la composition des roches. Ainsi les vallées circulaires ou en forme de cuves, produites par des soulèvements (valleys of elevation), que l'on rencontre dans les terrains sédimentaires de l'Allemagne septentrionale, dans le comté de Hereford, dans la partie des montagnes du Jura où est située Porentruy, et qui ont été décrites par Hoffman, Buckland et Murchison, appartiennent à la même classe que les phénomènes précédents. On peut dire la même chose, bien que l'analogie soit moins frappante, des plateaux des Cordillères, fermés de toute part par des massifs de montagne, sur lesquels sont bâties les villes de Caxamarca (haut. 8784 pieds), de Bogota (haut. 8 190 pieds), de Mexico (haut. 7 008 pieds), comme la vallée de Cachemire est encaissée dans l'Himalaya, à 5 460 pieds de hauteur.

Les cratères d'explosion répandus en grand nombre dans les volcans éteints de l'Eifel ont moins de rapport avec les cratères de soulèvement qu'avec le mode le plus élémentaire de l'activité volcanique, c'est-à-dire les éjections qui se produisent à travers de simples crevasses. On appelle cratères d'explosion des dépressions en forme de cuves pratiquées dans un terrain non volcanique, le schiste dévonien, et entourées de murs peu élevés qui se sont

formés d'eux-mêmes : ce sont des entonnoirs analogues aux puits de mines, qui ont été témoins d'explosions semblables aussi à celles des mines, et rappellent l'explosion d'ossements humains qui eut lieu sur la colline de la Culca, le 4 février 1797, lors du tremblement de terre de Riobamba, et dont j'ai donné la description (97). Lorsque des cratères d'explosion isolés, situés à de médiocres hauteurs, sont remplis d'eau, comme on peut le voir dans l'Eifel, en Auvergne et dans l'île de Java, ils peuvent être appelés aussi cratères-lacs ; mais on ne saurait prendre d'une manière générale cette dénomination comme synonyme de celle de cratères d'explosion, attendu qu'Abich et moi avons trouvé de petits lacs au sommet des plus hauts volcans, sur de véritables cônes de soulèvement, et dans des cratères éteints, par exemple sur le volcan mexicain de Toluca, à 11 490 pieds de hauteur, et dans le Caucase, sur l'Elbrouz, à 18 500 pieds. Il faut distinguer soigneusement, dans les volcans de l'Eifel, deux produits de l'activité volcanique d'âges très-différents : les volcans proprement dits, qui vomissent des coulées de lave, et les cratères d'explosion, dont les phénomènes éruptifs ont un caractère moins grandiose. A la première classe appartiennent : le courant de lave basaltique, riche en olivine, et divisé en colonnes verticales, qui recouvre la vallée d'Uesbach près de Bertrichs (98) ; le volcan de Gerolstein, qui sort d'un calcaire contenant de la dolomie et engagé dans des grauwackes schisteuses d'origine dévonienne, et le

Mosenberg au dos allongé, élevé de 1 645 pieds au-dessus du niveau de la mer, près de Bettenfeld, à l'ouest de Manderscheid. Le Mosenberg a trois cratères : les deux plus rapprochés du Nord ont une forme parfaitement circulaire, et le sol qui en fait le fond est couvert de tourbières, tandis que du troisième, situé vers le Sud, s'échappe une abondante coulée de lave, d'un brun rouge, qui se divise en colonnes, en s'enfonçant vers la vallée de la petite Kyll (99). Le Mosenberg, le Gerolstein et les autres volcans proprement dits de l'Eifel, offrent un phénomène remarquable, contraire à ce que l'on observe en général dans les volcans qui vomissent des laves, c'est que les laves, à leur sortie du cratère, ne paraissent pas entourées de roches trachytiques, mais que, aussi loin que peut atteindre l'observation, elles jaillissent immédiatement des couches dévoniennes. La surface du Mosenberg ne révèle pas ce qu'il cache dans ses profondeurs. Les scories augitiques, qui passent en masse aux courants de basalte, renferment de petits fragments de schiste calcinés, mais ne laissent voir aucune trace de trachyte. Le trachyte ne se trouve pas davantage dans le cratère du Rodderberg, si voisin cependant de la plus grande masse trachytique des bords du Rhin, les Siebengebirge.

Suivant l'ingénieuse remarque du Directeur général des Mines, M. de Dechen, « la formation des cratères d'explosion paraît appartenir à la même époque, ou peu s'en faut, que les éruptions de lave des volcans proprement dits. Les cratères d'explo-

sion et les coulées de lave se rencontrent dans le voisinage des vallées profondément découpées. A l'époque où remonte incontestablement l'activité des volcans qui donnent de la lave, les vallées avaient déjà une forme très-voisine de leur forme actuelle ; on voit même que, dans cette contrée, les plus anciennes coulées de lave se sont précipitées dans les vallées. » Les cratères d'explosion sont entourés de fragments de schiste dévonien, de monceaux de sable gris et d'une enceinte de tuf. Le Laacher See, que l'on peut considérer comme un grand cratère d'explosion, ou, suivant l'opinion de mon vieil ami C. d'Oeynhausen, comme une partie d'une grande vallée creusée dans le schiste argileux, ainsi que le bassin de Wehr, montre sur ses bords quelques éruptions de scories. Il en est de même du Krufter Ofen, du Veitskopf et du Laacher Kopf. Mais ce qui distingue les cratères d'explosion des cratères de soulèvement, ce n'est pas seulement le manque absolu des scories de lave, que l'on observe dans les îles Canaries, sur le bord extérieur des cratères de soulèvement, ou tout au moins à une très-faible distance, ce n'est pas même la hauteur insignifiante de la couronne qui enceint les cratères d'explosion ; la différence essentielle, c'est qu'il manque aux bords des cratères d'explosion ce qui est la conséquence du soulèvement, des couches régulièrement stratifiées et inclinées. Les cratères d'explosion qui s'enfoncent dans le schiste dévonien offrent l'apparence, ainsi que je l'ai déjà remarqué plus

haut, des entonnoirs de mines, dans lesquels, après une explosion violente de gaz et de vapeurs bourbeuses, est retombée la plus grande partie des masses désagrégées de rapillis. Je me bornerai à citer ici pour exemple les cratères d'explosion d'Immerath, de Pulver et de Meerfeld. Au milieu du premier, dont le sol, qui n'a pas moins de 200 pieds de profondeur, est à sec et cultivé, sont situés les deux villages de l'Ober Immerath et le l'Unter Immerath. Dans le tuf volcanique dont sont formés les environs, on trouve, comme sur le bord du Laacher See, des mélanges de feldspath et d'augite, de forme sphérique, dans lesquels sont disséminés de petits fragments de verre noir et vert. Le tuf qui entoure le cratère d'explosion de Pulver, près de Gillenfeld, changé actuellement en un lac profond, contient aussi des morceaux sphériques de mica, de hornblende et d'augite remplis de vitrifications. Le cratère d'explosion de Meerfeld, dont les bords forment une circonférence régulière, et qui est rempli en partie d'eau, en partie de tourbe, se distingue, au point de vue géognostique, par sa proximité des trois cratères du grand Mosenberg, dont le plus méridional a fourni un courant de lave. Le cratère d'explosion est cependant à 600 pieds au-dessous du dos allongé du volcan et près de son extrémité orientale. Il n'est pas non plus sur l'axe des cratères, et incline davantage au Nord-Ouest. La hauteur moyenne au-dessus de la mer des cratères d'explosion de l'Eifel varie entre 865 pieds, qui paraissent être la hauteur du Laacher See, et

1 470, qui sont celle du cratère d'explosion de Mosbruch.

C'est ici le lieu de remarquer à quel point l'activité volcanique se retrouve semblable à elle-même, en tant que puissance productive, si différents que soient d'ailleurs les échafaudages extérieurs à travers lesquels elle se manifeste, soit par conséquent qu'on la considère dans les cratères d'explosion, dans les cratères de soulèvement entourés d'un rempart naturel, ou dans les montagnes coniques ouvertes au sommet. Je puis donc signaler l'abondance singulière de minéraux cristallisés que les cratères ont rejetés lors de leur première explosion, et dont une partie se retrouve aujourd'hui enfouie dans les tufs. Les environs du Laacher See sont les plus riches en minéraux de ce genre; mais d'autres cratères d'explosion, tels que celui d'Immerath, ou celui de Meerfeld, riche en grains arrondis d'olivine, contiennent aussi des masses cristallines très-belles. Nous nommerons ici : le zircon, l'haüyne, la leucite (100), l'apatite, la nosiane, l'olivine, l'augite, la rhyakolithe, le feldspath commun ou orthoclase, le feldspath vitreux ou sanidin, le mica, la sodalite, le grenat et le fer titanique. Si ces substances sont de beaucoup inférieures en nombre aux beaux minéraux cristallisés du Vésuve, dont Scacchi énumère jusqu'à 43, il ne faut pas oublier qu'un très-petit nombre d'entre eux ont été réellement rejetés par le Vésuve, et que la plupart appartiennent à ce que l'on appelle les éjections du Vésuve, complétement étran-

gères à cette montagne, d'après le sentiment de L. de Buch (1), et que l'on doit, toujours d'après la même autorité, « rapporter à une couche superficielle de tuf, qui s'étend fort au delà de Capoue, et qui, soulevée par le cône du Vésuve, à mesure qu'il était soulevé lui-même, est vraisemblablement le produit d'une action volcanique sous-marine, profondément cachée dans l'intérieur de la Terre. »

On ne peut non plus méconnaître dans l'Eifel certaines directions déterminées, suivant lesquelles sont disposées les diverses manifestations de l'activité volcanique. Les volcans à courants de lave des hautes régions de l'Eifel sont tous disposés sur une faille longue d'environ 7 milles, qui s'étend dans la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, depuis Bertrich jusqu'au Goldberg, près d'Ormond. Au contraire, les cratères d'explosion, depuis le cratère de Meerfeld jusqu'à Mosbruch et au Laacher See, suivent la direction du Sud-Ouest au Nord-Est. Ces deux lignes se coupent dans les trois cratères de Daun. Nulle part, près du Laacher See, on ne voit de trachyte à la surface du sol; les seuls indices qui puissent faire soupçonner la présence de cette roche à l'intérieur sont la nature particulière de la ponce du Laacher See, qui est entièrement feldspathique, et les bombes d'augite et de feldspath rejetées par le cratère. Tout ce qu'il y a dans l'Eifel de trachyte visible, composé de feldspath et de grands cristaux de hornblende, est exclusivement partagé entre les montagnes basaltiques. Ainsi,

on en trouve sur le Sellberg, haut de 1 776 pieds, près de Quiddelbach; sur la hauteur de Struth, près de Kelberg, et dans la chaîne fortifiée de Reimerath près de Boos.

Si l'on excepte les îles Lipari et les îles Ponza, il y a bien peu de pays en Europe ayant produit une plus grande quantité de ponce que cette contrée de l'Allemagne qui, sur un soulèvement relativement peu considérable, offre des formes si différentes de l'activité volcanique : cratères d'explosion, montagnes basaltiques, volcans à courants de lave. La plus grande masse de ponce est placée entre Nieder-Mendig et Sorge, entre Andernach et Rubenach. La plus grande masse de trass, conglomérat de formation très-récente déposé par les eaux, se trouve dans la vallée du Brohl, depuis l'endroit où cette rivière se jette dans le Rhin jusqu'à Burgbrohl, près de Plaidt et de Kruft. Le trass de la vallée du Brohl contient, outre des fragments de grauwackes schisteuses et de bois, des morceaux de pierre ponce qui ne diffèrent en rien de celle qui s'étend à la surface de la contrée, et qui recouvre le trass lui-même. Malgré certaines analogies que paraissent fournir les Cordillères, j'ai toujours douté que le trass de l'Eifel pût être attribué aux éjections boueuses des volcans à courants de lave. Je suppose plutôt, avec M. de Dechen, que la ponce a été rejetée sèche, et que le trass s'est formé à la façon des autres conglomérats. La ponce est étrangère aux Siebengebirge, et, d'après des conjectures fondées

sur la disposition des lieux, il est possible que la ponce de l'Eifel, dont la masse principale est située encore au-dessus du loess, et en quelques endroits alterne avec ce dépôt, provienne d'une éruption qui aurait eu lieu dans la vallée du Rhin, dans le grand bassin de Neuwied, au-dessus de la ville de ce nom, peut-être près d'Ourmits, sur la rive gauche du fleuve. Cette substance, en effet, est si friable que l'action des eaux du Rhin, venant à s'exercer plus tard, a pu effacer, sans en laisser de trace, l'emplacement de l'éruption. Dans tout l'espace occupé sur l'Eifel par les cratères d'explosion, non plus que dans la région volcanique de l'Eifel qui s'étend de Bertrich à Ormond, il n'y a point de ponce; celle du Laacher See ne dépasse pas les montagnes qui le bordent, et, dans les autres cratères d'explosion, les petits fragments de feldspath empâtés dans le sable volcanique et le tuf ne passent pas à la pierre ponce.

J'ai déjà parlé plus haut de l'âge des cratères d'explosion et de celui des volcans qui vomissent des laves, relativement à la formation des vallées. Le trachyte des Siebengebirge paraît de beaucoup antérieur à la formation des vallées; il a même précédé la houille du Rhin. Son apparition a été étrangère au déchirement de la vallée arrosée par ce fleuve, en supposant même qu'elle provienne d'une faille. La naissance des vallées est certainement plus récente que la houille et la plus grande partie du basalte du Rhin; elle est au contraire plus ancienne que la grande éruption de ponce et le trass. Les forma-

tions de basalte se prolongent sans nul doute jusqu'à une époque plus récente que la formation du trachyte, et, par suite, la masse principale du basalte doit être considérée comme plus jeune que le trachyte. Sur les pentes actuelles de la vallée du Rhin, dans la carrière d'Unkel, à Rolandseck, au Godesberg, un grand nombre de groupes basaltiques enfermés vraisemblablement jusque-là dans des massifs de grauwackes dévoniennes ont été mis à nu par l'ouverture de la vallée.

Les infusoires, répandus en si grand nombre sur les continents, au fond des mers, dans les hautes couches de l'atmosphère, et dont l'immense expansion, démontrée par Ehrenberg, est une des plus brillantes découvertes de notre siècle, ont, dans l'Eifel, leur siége principal au milieu des rapillis, des couches de trachyte et des conglomérats de pierre ponce. Ces organismes siliceux remplissent la vallée du Brohl et les masses éruptives de Hochsimmern; quelquefois ils sont mêlés dans le trass avec des branches de conifères non carbonisées. Toute cette vie microscopique est, d'après Ehrenberg, une formation d'eau douce, et c'est par exception que les polythalames de mer se montrent dans la couche supérieure du loess friable et jaunâtre qui couvre le pied et les versants des Siebengebirge, et qui rappelle la nature d'une côte dans le voisinage de laquelle ont existé anciennement des eaux saumâtres (2).

Le phénomène des cratères d'explosion est-il borné à l'Allemagne occidentale? Le Comte de

Montlosier, qui avait exploré l'Eifel en 1819, et qui proclame le Mosenberg un des plus beaux volcans qu'il ait jamais vus, range, comme l'a fait Rozet, le gouffre de Tazenat, le lac Pavin et le lac de la Godivel, en Auvergne, parmi les cratères d'explosion. Ces lacs sont découpés dans des roches de nature très-différente : dans le granite, le basalte et le dômite, roche des terrains trachytiques. Sur les bords, ils sont entourés de scories et de rapillis (3).

Les échafaudages, que les volcans construisent par une plus haute manifestation de leur puissance, en soulevant le sol et en vomissant des laves, revêtent au moins six formes différentes, et se reproduisent avec cette variété sous les zônes les plus distantes de la Terre. Celui qui est né dans des régions volcaniques, entre des montagnes de basalte et de trachyte, se retrouve dans sa patrie partout où lui sourient les mêmes formes. La configuration des montagnes est un des éléments les plus importants qui composent la physionomie de la nature. Les montagnes, suivant qu'elles sont revêtues de végétation, ou qu'elles présentent au regard leur nudité stérile, communiquent à la contrée un aspect attrayant ou un caractère sévère et grandiose. C'est ce qui m'a engagé à réunir, dans un Atlas, des vues des Cordillères de Quito et du Mexique, gravées d'après les dessins que j'en avais faits moi-même. Le basalte se présente tantôt en coupoles coniques, un peu arrondies au sommet, tantôt en montagnes jumelles d'inégale hauteur, rangées à peu de distance l'une de l'autre, quelquefois enfin

sous la forme d'une longue croupe horizontale, terminée à chaque bout par une coupole plus élevée. Dans le trachyte, on distingue surtout la forme majestueuse du dôme, qui est celle du Chimborazo, haut de 20 100 pieds (4), et qu'il ne faut pas confondre avec la forme de cloche qu'affectent des montagnes également fermées au sommet, mais plus élancées. Le Cotopaxi, haut de 17 712 pieds (5), fournit l'exemple d'un cône parfait. Après lui viennent le Popocatepetl (haut. 16 632 pieds), dont on peut contempler la magnificence sur le beau lac de Tezcuco ou sur les hauteurs de la pyramide à gradins de Cholula (6), et le volcan d'Orizaba (haut. 16 302 pieds, de 16 776 d'après Ferrer) (7). Le Nevado de Cayambe Urcu (haut. 18 170 pieds), que traverse l'équateur, offre l'aspect d'un cône fortement tronqué (8), ainsi que le volcan de Tolima (haut. 17 010 pieds), que l'on aperçoit au pied du Paramo de Quindiu, près de la petite ville d'Ibague, par-dessus une antique forêt (9). Le volcan du Pichincha (haut. 14 910) présente aux regards étonnés du géognoste une croupe allongée, à l'extrémité de laquelle, du côté le plus élevé, est situé le vaste cratère, qui lance encore des flammes (10).

L'éboulement et le déchirement des murs des cratères, causés par les grandes catastrophes de la nature et par les explosions parties des entrailles du globe, déterminent de singuliers contrastes dans les formes des montagnes coniques. De là vient la division en deux pyramides, plus ou moins régulières, qui

s'est produite dans le Carguairazo (haut. 14 700 pieds), lors de l'effondrement subit qui eut lieu durant la nuit du 19 juillet 1698 (11), et celle qui a partagé l'Ilinissa (12); de là aussi la forme crénelée des parois supérieures, dans le cratère du Capac Urcu, le *Cerro del Altar*, qui n'a plus aujourd'hui que 16 380 pieds de hauteur, et dont les deux cimes, très-régulières et inclinées l'une vers l'autre, laissent soupçonner la forme primitive. C'est une tradition généralement répandue chez les indigènes du plateau de Quito, qui habitent entre Chambo et Lican, entre les montagnes de Condorasto et de Cuvillan, que, à la suite d'éruptions qui durèrent sans discontinuer pendant sept ou huit années, la cime du Capac Urcu s'abîma, quatorze ans avant la chute de Huayna Capac, fils de l'Inca Tupac Yupanqui, et que tout le plateau sur lequel est située la nouvelle ville de Riobamba fut couvert de ponce et de cendres volcaniques. Le *Cerro del Altar*, originairement plus élevé que le Chimborazo, était appelé, dans la langue des Incas ou langue quechua, le roi ou le prince des montagnes, de *Capac*, roi, et *Urcu*, montagne, parce que les indigènes voyaient le sommet de ce volcan s'élever, au-dessus de la ligne inférieure des neiges éternelles, beaucoup plus haut qu'aucune autre montagne de la contrée (13). Le grand Ararat, dont la cime, haute de 16 026 pieds, a été atteinte par Frédéric Parrot, en 1829, par Abich et Chodzko, en 1845 et 1850, est, comme le Chimborazo, un dôme fermé. Les puissantes coulées de lave qu'il a rejetées ont fait éruption fort au-dessous de la limite des neiges.

Un trait caractéristique dans la configuration de l'Ararat est une caverne latérale, une échancrure profonde, connue sous le nom de Vallée de Jacob, que l'on peut comparer au *Val del Bove* de l'Etna. Ce n'est que dans cette caverne, suivant l'observation d'Abich, que l'on peut réellement reconnaître la structure intérieure du noyau de la cloche trachytique, attendu que ce noyau et le soulèvement de l'Ararat tout entier sont beaucoup plus vieux que les coulées de lave (14). Le Kasbegk et le Tschegem, qui, de même que le colossal Elbrouz, haut de 18 500 pieds, ont fait éruption sur la croupe principale du Caucase dirigée de l'Est Sud-Est à l'Ouest Nord-Ouest, sont aussi des cônes sans cratères au sommet, tandis que l'Elbrouz porte à son sommet un cratère-lac.

Dans toutes les contrées, les montagnes en forme de cône et de dôme sont de beaucoup les plus nombreuses; la longue croupe du Pichincha, isolé au milieu des volcans de Quito, est d'autant plus digne de remarque. J'ai longtemps et soigneusement étudié la configuration de cette montagne, et j'ai publié, outre un profil tracé d'après un grand nombre de mesures angulaires, une esquisse topographique des vallées transversales qui la sillonnent (15). Le Pichincha forme un mur de trachyte noir, mélangé d'augite et d'oligoclase, qui s'étend sur un espace de plus de deux milles géographiques, le long d'une faille pratiquée dans la partie la plus occidentale de la cordillère voisine de la mer du Sud, sans cependant que l'axe de la montagne soit parallèle à celui de la cordillère.

Sur le dos du Pichincha, se succèdent, dans la direc tion du Sud-Ouest au Nord-Est, trois coupoles, posées comme des châteaux forts : le *Cuntur-Guachana*, le *Guagua-Pichincha*, c'est-à-dire le fils du vieux volcan, et le *Picacho de los Ladrillos*. Le volcan proprement dit est appelé le Père ou l'Ancien, *Rucu-Pichincha;* il est la seule partie de cette longue croupe qui s'élève jusque dans la région des neiges éternelles, et dépasse la coupole du Guagua-Pichincha de 180 pieds environ. Le cratère ovale, un peu incliné vers le Sud-Ouest, en dehors par conséquent de l'axe de la muraille qui s'élève en moyenne à 14 706 pieds, est entouré de trois rochers en forme de tours. J'ai gravi, dans le printemps de l'année 1802, seul avec l'Indien Felipe Aldas, le plus oriental des trois rochers. Nous sommes restés sur le bord extrême du cratère, à 2300 pieds environ au-dessus du fond de l'abîme enflammé. Sébastien Wisse, qui a mis à profit son long séjour à Quito, pour enrichir les sciences physiques d'un si grand nombre d'observations intéressantes, n'a pas craint de passer, en 1845, plusieurs nuits dans le cratère même du Rucu-Pichincha, où le thermomètre, pendant le coucher du Soleil, est tombé à 2° au-dessous de zéro. Le cratère est divisé en deux parties par une arête de rocher recouverte de scories vitrifiées. La partie orientale, de forme circulaire, est plus profonde que l'autre de plus de 1 000 pieds, et est actuellement le véritable siége de l'activité volcanique. Elle renferme un cône d'éruption, haut de 250 pieds et entouré de plus de 70 fumarolles enflam-

mées, d'où s'exhale une vapeur de soufre (16). C'est probablement de ce cratère, couvert, aux endroits les moins chauds, de touffes de graminées semblables à des roseaux, et d'une espèce de Pourretia à feuilles de Bromelia, que sont sorties les éruptions ignées de scories, de ponce et de cendres, qui se sont succédé en 1539, 1560, 1566, 1577, 1580 et 1660. Durant ces éruptions, la ville de Quito était souvent plongée tout un jour dans une obscurité complète, causée par la poussière des rapillis.

A cette classe plus rare de volcans, dont la croupe se prolonge sur une grande étendue, appartiennent dans l'Ancien Monde : le Galunguug, pourvu d'un vaste cratère, dans la partie occidentale de l'île de Java (17), la masse doléritique du Schiwelutsch, chaîne de montagnes située dans le Kamtschatka, dont l'arête est surmontée de coupoles qui s'élèvent jusqu'à 9 540 pieds de haut (18); l'Hécla qui, vu du côté du Nord-Ouest, dans la direction de la faille longitudinale au-dessus de laquelle il est soulevé, semble une vaste chaîne de montagnes, sur laquelle se détachent plusieurs petites cornes. Depuis les dernières éruptions de 1845 et 1846, qui ont fait sortir de l'Hécla des courants de lave, longs de 2 milles géographiques et larges en quelques endroits d'un demi-mille, semblables à celui que l'Etna vomit en 1669, le dos de la montagne porte une rangée de cinq cratères en forme de cuves. Comme la faille principale est dirigée Nord 65° Est, le volcan vu de Selsundsfjall, c'est-à-dire pris du côté du Sud-Ouest, par consé-

quent suivant une coupe transversale, offre aux regards l'aspect d'un cône aigu (19).

Les formes des montagnes ignivomes peuvent offrir des dissemblances surprenantes, comme par exemple le Cotopaxi et le Pichincha, sans que les matières qu'elles rejettent, et les combinaisons chimiques qui s'opèrent dans les profondeurs de la Terre soient diversifiées; mais la situation relative du cône de soulèvement présente des particularités plus singulières encore. A Luzon, dans le groupe des Philippines, s'élève, au milieu d'un grand lac peuplé de crocodiles, dans *la laguna de Bombon*, le volcan encore actif de Taal, dont l'éruption la plus funeste a été celle de 1754. Le cône, qui fut gravi dans le voyage de découverte de Kotzebue, a un cratère-lac, d'où s'élève un cône d'éruption pourvu d'un autre cratère (20). Cette description rappelle le Périple d'Hannon, où il est fait mention d'une île renfermant un petit lac, du milieu duquel s'élève une autre île. Ce phénomène se serait, à ce qu'il paraît, produit deux fois : une fois dans le golfe de la Corne occidentale, une autre fois dans la baie des Singes Gorilles, sur la côte occidentale de l'Afrique. On voudrait pouvoir se fier à la vérité de descriptions empreintes d'un caractère aussi individuel (21).

La considération hypsométrique des points les plus élevés et les plus bas sur lesquels l'activité volcanique de la Terre se manifeste d'une manière permanente offre, pour la description physique du monde, l'intérêt qui s'attache à tout ce qui concerne la réac-

tion de l'intérieur de la Terre contre son écorce extérieure. La hauteur des cônes volcaniques peut, à la vérité, donner la mesure de la force qui les a soulevés (22); mais quant à l'influence de la hauteur sur la fréquence et la force des éruptions, ce sont là des relations qu'il convient de n'apprécier qu'avec une grande réserve. Quelques effets semblables pour la fréquence et l'intensité, produits exceptionnellement par des volcans dont les hauteurs contrastent, ne sauraient trancher la question, et sur plusieurs centaines de volcans actifs, dont on soupçonne l'existence dans les continents et dans les îles, un trop petit nombre est connu jusqu'à ce jour pour qu'il soit possible d'appliquer la seule méthode certaine, celle des moyennes. Les moyennes elles-mêmes, si elles permettaient de reconnaître à quelle hauteur des cônes de soulèvement répond un retour plus fréquent des éruptions, laisseraient encore place à ce doute, qu'outre la hauteur, c'est-à-dire l'éloignement du foyer volcanique, des accidents, dont il est impossible de faire la part, agissent sur le réseau des failles, plus ou moins faciles à obstruer. Au point de vue des causes qui concourent à les former, les phénomènes volcaniques sont, par conséquent, un problème indéterminé.

Me tenant donc prudemment dans le domaine des faits, puisque la complication des phénomènes et le manque de documents historiques sur les éruptions accomplies durant le cours des siècles ne permet pas encore de découvrir la loi des grandes manifestations volcaniques, je me bornerai, pour l'hy-

psométrie comparée des volcans, à disposer cinq groupes dans lesquels chaque classe d'altitude est caractérisée par des exemples peu nombreux, mais incontestables. Je fais entrer dans ces cinq groupes les montagnes coniques, pourvues à leur sommet de cratères enflammés, c'est-à-dire les volcans proprement dits, dont l'activité n'est pas épuisée, mais non les montagnes fermées en forme de cloche, telles que le Chimborazo. Tous les cônes d'éruption qui dépendent d'un volcan voisin, ou qui, loin de tout volcan, comme dans l'île de Lancerote et à Ischia, dans l'Arso de l'Epoméo, n'ont point entretenu de communication permanente entre l'atmosphère et l'intérieur du globe, sont aussi exclues de ce tableau. D'après le témoignage de l'observateur qui a étudié avec le plus de zèle les phénomènes volcaniques de l'Etna, Sartorius de Waltershausen, ce volcan est entouré de près de 700 cônes d'éruption, grands et petits. Comme les mesures de hauteurs ont pour point de départ le niveau de la mer, c'est-à-dire la surface liquide de la Terre, telle qu'elle existe aujourd'hui, il est important de rappeler que les volcans des îles, dont quelques-uns ne s'élèvent pas à 1 000 pieds au-dessus de l'Océan, comme le volcan japonais de Cosima (23), situé à l'entrée du détroit de Tsougar et décrit par Horner et par Tilesius, dont d'autres, comme le pic de Ténériffe (24), ont plus de 11 500 pieds de hauteur, ont été soulevés par les forces volcaniques au-dessus du lit de la mer, qui actuellement a souvent 20 000 pieds, quelquefois plus

de 43000 pieds de profondeur au-dessous de sa surface. Afin d'éviter les illusions que pourraient causer ces relations numériques, il est bon d'ajouter encore que, si, pour les volcans continentaux, la différence de la première à la quatrième classe, c'est-à-dire de 1 000 pieds à 18000 pieds, peut paraître très-considérable, l'effet de ce rapport est complétement changé, lorsque, conformément aux expériences de Mitscherlich sur le degré de fusion du granite, et d'après l'hypothèse un peu aventureuse, à la vérité, de la chaleur croissant avec la profondeur en proportion arithmétique, on admet que la limite supérieure des couches incandescentes de la Terre est à 119000 pieds au-dessous du niveau actuel de la mer. En considérant quelle force l'obstruction des failles volcaniques ajoute à la tension des vapeurs, il faut bien reconnaître que les différences d'altitude des volcans mesurés jusqu'à ce jour ne sont pas assez considérables pour empêcher la lave et d'autres masses compactes de s'élever à la hauteur des cratères.

HYPSOMÉTRIE DES VOLCANS.

Premier groupe, de 700 *à* 4000 *pieds de hauteur.*

Le volcan de l'île Cosima, dans le Japon, au Sud de l'île Jezo, hauteur 700 pieds, d'après Horner.

Le volcan de l'île Volcano dans l'archipel des îles Lipari, haut. 1224 pieds, d'après Fr. Hoffmann (25).

Le Gunung Api, c'est-à-dire, dans la langue malaise, Montagne de Feu, dans l'île Bonda, 1828 pieds.

Le volcan d'Izalco, dans l'État de San Salvador (Amérique centrale), volcan presque continuellement en éruption, dont

le sommet a été gravi pour la première fois en 1770, haut. 2 000 pieds, d'après Squier (26).

Le Gunung Ringgit, le moins élevé des volcans de Java, haut. 2 200 pieds, d'après Junghuhn (27).

Le Stromboli, haut. 2 775 pieds, d'après Fr. Hoffmann.

Le Vésuve; hauteur moyenne de la partie culminante des bords du cratère, sur la Rocca del Palo, 3 750 pieds, d'après les deux mesures barométriques prises par Humboldt, en 1805 et 1822 (28).

Le Jorullo soulevé sur le plateau mexicain, le 29 septembre 1759, haut. 4 002 pieds (29).

Deuxième groupe, de 4 000 à 8 000 pieds.

Le mont Pelé de la Martinique, haut. 4416 pieds, d'après Dupuget (mesure incertaine).

La Soufrière de la Guadeloupe, haut. 4567 pieds, d'après Charles Deville.

Le Gunung Lamongan, dans la partie la plus orientale de l'île de Java, haut. 5 010 pieds, d'après Junghuhn.

Le Gunung Tengger, celui de tous les volcans de Java qui a le plus vaste cratère : hauteur prise sur le cône d'éruption le Bromo, 7 080 pieds, d'après Junghuhn (30).

Le volcan d'Osorno, dans le Chili, haut. 7 083 pieds, d'après Fitzroy.

Le volcan de l'île Pico, dans les Açores, haut. 7 143 pieds, d'après le capitaine Vidal (31).

Le volcan de l'île Bourbon, haut. 7 507 pieds, d'après Berth.

Troisième groupe, de 8 000 à 12 000 pieds.

Le volcan d'Awatscha, dans la presqu'île du Kamtschatka, qu'il ne faut pas confondre avec le Strjeloschnaja Sopka, situé un peu plus au Nord, et que les marins anglais désignent aussi habituellement sous le nom de volcan d'Awatscha, haut. 8 360 pieds, d'après Erman (32).

Le volcan d'Antuco ou Antoio, dans le Chili, haut. 8 368 pieds, d'après Domeyko (33).

Le volcan de l'île Fogo, dans l'archipel du cap Vert, haut. 8 587 pieds, d'après Charles Deville (34).

Le Schiwelutsch, dans le Kamtschatka, haut. de la cime Nord-Est 9 898 pieds, d'après Erman (35).

L'Etna, haut. 10 200 pieds, d'après Smyth (36).

Le pic de Ténériffe, haut. 11 408 pieds, d'après Charles Deville (37).

Le Gunung Semeru, la plus élevée de toutes les montagnes de l'île Java, haut. 11 480 pieds, d'après les mesures barométriques de Junghuhn.

L'Erebus, situé par 77° 32′ de latitude, le volcan le plus rapproché du pôle Sud, haut. 11 603 pieds, d'après sir James Ross (38).

L'Argæus, en Cappadoce, aujourd'hui Erdschich Dagh, au sud sud-est de Keisarieh, haut. 11 823 pieds, d'après P. de Tchihatcheff (39).

Quatrième groupe, *de* 12 000 *à* 16 000 *pieds.*

Le volcan de Tuqueres, dans les hautes terres de la province de los Pastos, haut. 12 030 pieds, d'après Boussingault (40).

Le volcan de Pasto, haut. 12 620 pieds, d'après Boussingault (41).

Le Mauna Roa, haut. 12 909 pieds, d'après Wilkes (42).

Le volcan de Cumbal, dans la province de los Pastos, haut. 14 465 pieds, d'après Boussingault (43).

Le Kliutschewsk, dans le Kamtschatka, haut. 14 790 pieds, d'après Erman (44).

Le Rucu Pichincha, haut. 14 940 pieds, d'après les mesures barométriques de Humboldt.

Le Tungurahua, haut. 15 473 pieds, d'après les mesures trigonométriques de Humboldt (45).

Le volcan de Purace, près de Popayan, 15 957 pieds, d'après José Caldas (46).

Cinquième groupe, de 16 000 *à* 20 000 *pieds.*

Le Sangay, au sud-est de Quito, haut. 16 068 pieds, d'après Bouguer et La Condamine (47).

Le Popocatepetl, haut. 16 632 pieds, d'après les mesures trigonométriques de Humboldt (48).

Le volcan d'Orizaba, haut. 16 776 pieds, d'après Ferrer (49).

L'Eliasberg, sur les côtes occidentales de l'Amérique du Nord, haut. 16 750 pieds, d'après les mesures de Quadra et de Galeano (50).

Le volcan de Tolima, haut. 17 010 pieds, d'après les mesures trigonométriques de Humboldt (51).

Le volcan d'Arequipa, haut. 17 714 pieds, d'après les mesures trigonométriques de Dolley (mesure incertaine) (52).

Le Cotopaxi, haut. 17 712 pieds, d'après Bouguer (53).

Le Sahama, dans la Bolivie, haut. 20 970 pieds, d'après Pentland (54).

Le Sahama, qui clôt la liste, a plus de deux fois la hauteur de l'Etna; il est cinq fois et demie aussi haut que le Vésuve. La gradation que j'ai établie entre les volcans, à partir des petits cratères d'explosion, sortes d'entonnoirs sans échafaudage d'où sont sorties des bombes d'olivine, entourées de quartiers de schiste à moitié fondus, jusqu'au volcan actif de Sahama, haut de 21 000 pieds, fait voir qu'il n'y a aucun lien nécessaire entre le maximum d'élévation, l'affaiblissement de l'activité volcanique et la nature des roches visibles. Des observations circonscrites dans quelques pays peuvent facilement induire à des conséquences erronées. Par exemple, dans la partie du Mexique, située sous la zone tor-

ride, toutes les montagnes couvertes de neiges éternelles, c'est-à-dire les points culminants de la contrée, sont des volcans. Il en est presque toujours de même dans les Cordillères de Quito, si l'on range parmi les volcans les montagnes de trachyte en forme de cloche, sans ouverture au sommet, comme le Chimborazo et le Corazon. Au contraire, dans la partie orientale des Andes de la Bolivie, les maxima de hauteur sont complétement dépourvus d'activité volcanique. Le Nevado de Sorata, haut de 19 974 pieds, et celui d'Illimani, qui en a 19 843, sont formés de grauwackes schisteuses, brisées par des masses de porphyre, et au milieu desquelles se trouvent enfermés des fragments de schiste, témoins de la rupture des couches (55). Dans la Cordillère orientale de Quito, au sud du parallèle de 1° 35′, les hautes cimes du Condorasto, du Cuvillan et de l'Altar de los Collanes, situées en face des trachytes et qui s'élèvent aussi dans la région des neiges éternelles, sont composées de schiste micacé et de *gestellstein*. D'après ce que nous savons jusqu'à ce jour sur la composition minéralogique des plus grandes altitudes de l'Himalaya, grâce aux excellents travaux de Bryan, de H. Hodgson, de Jacquemont, de Joseph Dalton Hooker, de Thomson et de Henry Strachey, il paraît que les roches réputées autrefois primitives, le granite, le gneiss et le schiste micacé, sont aussi visibles dans ces montagnes, mais que l'on n'y découvre aucune formation trachytique. Pentland a trouvé des coquilles fossiles en Bolivie, au milieu des schistes siluriens du Nevado

de Antacaua, à 16400 pieds au-dessus du niveau de la mer, entre la Paz et Potosi. L'excessive hauteur de la formation crétacée, que démontrent des fossiles rapportés par Abich du Daghestan, et ceux que j'ai recueillis moi-même dans les Cordillères du Pérou, entre Guambos et Montan, rappelle d'une manière saisissante que des couches sédimenteuses, non volcaniques et pleines de débris organiques, couches qu'il ne faut pas confondre avec des lits volcaniques de tuf, se montrent dans des lieux autour desquels, à une grande distance, le mélaphyre, le trachyte, la dolérite et d'autres roches pyroxéniques, auxquelles on attribue la force qui pousse et qui soulève, restent cachés dans les profondeurs de la Terre. Sur une immense étendue des Cordillères et de la région qui les avoisine à l'Est, il n'existe aucune trace visible de toute la formation granitique.

Ainsi que je l'ai déjà remarqué plusieurs fois, la fréquence des éruptions d'un volcan paraît dépendre de causes multiples et très-compliquées. Aussi n'est-il pas possible d'exprimer sûrement, par une loi générale, le rapport de la hauteur absolue au nombre et à la puissance des éruptions volcaniques. Si, en se bornant à un groupe peu considérable, la comparaison du Stromboli, du Vésuve et de l'Etna peut disposer à croire que le nombre des éruptions est en raison inverse de la hauteur des volcans, d'autres faits sont en opposition directe avec cette formule. Sartorius de Waltershausen, si versé dans la connais-

sance de l'Etna, remarque que, d'après la moyenne des derniers siècles, on peut s'attendre à une éruption tous les six ans, tandis qu'en Islande, où aucune partie du sol n'est vraiment à l'abri de l'embrasement sous-marin, les éruptions ne reviennent dans l'Hécla, inférieur à l'Etna de 5400 pieds, que tous les 70 ou 80 ans (56). Le groupe des volcans de Quito offre un contraste plus frappant encore. Le volcan de Sangay, haut de plus de 16000 pieds, est beaucoup plus actif que le cône du Stromboli, qui n'en a que 2775. Le Sangay est de tous les volcans connus, celui qui, dans l'espace d'un quart d'heure, fait succéder le plus rapidement les éruptions de scories enflammées, qui éclairent au loin l'horizon. Au lieu de nous engager dans des hypothèses sur les causes dont le concours produit des phénomènes inaccessibles à nos recherches, je préfère m'arrêter à six points de la surface du globe qui, dans l'histoire de l'activité volcanique, sont particulièrement instructifs et curieux. Ces points sont le Stromboli, la Chimère de Lycie, le vieux volcan de Masaya, le très-nouveau volcan d'Izalco, celui de Fogo dans les îles du Cap-Vert, et le colossal Sangay.

La Chimère et le Stromboli (l'ancienne Strongyle) sont les deux montagnes ignivomes dont la permanence, appuyée sur des documents certains, remonte le plus haut dans l'histoire. L'éminence conique du Stromboli, formée de dolérite, est deux fois plus haute que la montagne ignivome de l'île Volcano, connue des anciens sous les noms de Hiera et de Ther-

messa, dont la dernière grande éruption date de l'année 1775. L'incessante activité du Stromboli est comparée à celle de l'île Lipari (l'ancienne Méligunis), par Strabon et par Pline, qui attribuent à ses flammes, c'est-à-dire à ses scories, une pureté et une clarté plus grandes, avec une chaleur moins intense (57). Le nombre et la forme des petites bouches de feu sont très-variables. La description du sol du cratère donnée par Spallanzani, et que l'on a regardée longtemps comme une exagération, a été pleinement confirmée par un géognoste consommé, Fr. Hoffmann, et tout récemment par un physicien ingénieux, M. de Quatrefages. Une des bouches chauffées au rouge n'a pas plus de 20 pieds de diamètre; elle ressemble à l'ouverture d'un haut fourneau. Lorsque, du bord du cratère, on plonge les regards dans cette ouverture, on voit, à toute heure, la lave en fusion monter et déborder. Aujourd'hui encore, les marins s'orientent quelquefois d'après les éruptions du Stromboli, qui, depuis les âges les plus reculés, n'ont pas été interrompues. La direction des flammes et des colonnes de vapeurs qui s'échappent du cratère sert, comme elle servait aux Grecs et aux Romains, à pronostiquer les vents tant bien que mal. Polybe, dont la description révèle une connaissance singulièrement exacte de l'état du cratère, rattache à l'antique séjour d'Eole dans l'île de Strongyle, et plus encore à des observations sur les feux de Volcano, l'île sacrée de Vulcain, qui, à l'époque de l'historien grec, s'échappaient violemment du cratère, les signes

divers qui présageaient les changements de vents. Le retour des éruptions ignées s'est opéré, dans ces derniers temps, à des intervalles un peu irréguliers. La période durant laquelle le Stromboli déploie le plus d'activité est le mois de novembre et la saison d'hiver. Suivant Sartorius de Waltershausen, il en est de même pour l'Etna. L'activité du Stromboli n'est d'ailleurs interrompue que par de très-courts moments de repos, ainsi que nous l'apprend l'expérience de plusieurs siècles.

La Chimère de Lycie, si bien décrite par l'amiral Beaufort, et dont j'ai déjà fait mention deux fois (58), n'est pas un volcan, mais un foyer perpétuel, une source de gaz constamment enflammée par un effet de l'activité volcanique de la Terre. Il y a quelques mois, un artiste de talent, Albert Berg, est allé visiter la Chimère, pour prendre des vues pittoresques de ce lieu, déjà célèbre au temps de Ctésias et de Scylax de Caryanda, et recueillir des fragments de toutes les roches d'où sortent les éruptions ignées. Les descriptions de Beaufort, du professeur Édouard Forbes et du lieutenant Spratt, dans les *Travels in Lycia*, ont été pleinement justifiées. Une masse éruptive de serpentine perce l'épais calcaire, dans une gorge qui monte du Sud-Est au Nord-Ouest. A l'extrémité Nord-Ouest de cette gorge, la serpentine est coupée ou peut-être seulement recouverte par une arête de calcaire arrondie en arc. Les fragments qu'on a rapportés sont, les uns verts et inaltérés, les autres bruns et en état de décomposition. On reconnaît

facilement, dans les deux dépôts de serpentine, la présence du diallage.

Le volcan de Masaya (59), *el Infierno de Masaya*, dont la réputation était déjà fort répandue au commencement du XVIe siècle, sous cette dénomination d'*Enfer*, et qui a été l'objet de Mémoires adressés à l'empereur Charles-Quint, est situé entre les deux lacs de Nicaragua et de Managua, au Sud-Ouest du charmant village indien Nindiri. Il a présenté, pendant des siècles, le rare phénomène que nous avons décrit à propos du volcan de Stromboli. Des bords du cratère on voyait, à travers une ouverture enflammée, monter et se précipiter les flots de la lave, agités par les vapeurs. L'historien espagnol, Gonzales Fernando de Oviedo, qui, en 1501, avait visité le Vésuve avec la reine de Naples, à laquelle il était attaché en qualité de *œefe de Guardaropa*, a le premier gravi le Masaja, au mois de juillet 1529, et a fait des comparaisons entre les deux volcans. Le nom de Masaya appartient à la langue Chorotega, en usage dans l'État de Nicaragua, et signifie montagne enflammée. Le volcan, entouré d'un vaste champ de lave (mal-pays), qu'il a sans doute formé lui-même, était considéré, à cette époque, comme tenant au groupe des neuf Maribios enflammés. « Dans l'état ordinaire, dit Oviedo, la surface de la lave, au milieu de laquelle nagent des scories noires, reste à plusieurs centaines de pieds au-dessous des bords du cratère, mais quelquefois il se produit subitement un bouillonnement tel que la lave atteint presque le bord le plus élevé. »

La perpétuelle illumination du Masaya provient, suivant le langage ingénieux et précis d'Oviedo, non d'une flamme proprement dite, mais de vapeurs éclairées par en bas (60). Ce phénomène a, dit-on, une si grande intensité que, sur la route longue de près de trois lieues, qui conduit du volcan à la ville de Grenade, la contrée était éclairée presque comme au temps de la pleine lune.

Huit ans après l'ascension d'Oviedo, le volcan fut gravi par un moine dominicain, Fray Blas del Castillo, le même personnage qui, dans les ouvrages de Gomara, de Benzoni et de Herrera, est appelé Fray Blas de Iñesta. Convaincu que la lave en fusion dans le cratère était de l'or liquide, Fray Blas s'associa un religieux flamand de l'ordre de Saint-François, non moins avide que lui, Fray Juan de Gandavo, et tous deux, mettant à profit la crédulité des Espagnols nouveaux venus, fondèrent une société par actions, pour exploiter cette mine à frais communs. Pour eux, ajoute plaisamment Oviedo, en leur qualité d'ecclésiastiques, ils étaient exempts de toute contribution pécuniaire. Le rapport que Fray Blas del Castillo adressa à l'évêque de Castilla del Oro, Thomas de Verlenga, sur les moyens d'exécution de cette entreprise aventureuse, n'a été connu qu'en 1840, par la découverte de l'ouvrage d'Oviedo sur Nicaragua. Fray Blas, qui précédemment avait servi comme matelot, voulut imiter la méthode à l'aide de laquelle les habitants des îles Canaries, suspendus par des cordages au-dessus de la mer, recueillent, sur les

flancs abrupts des rochers, la matière colorante appelée orseille (Lichen Roccella). Des mois entiers se passèrent à disposer et à renouveler les appareils, pour faire arriver au-dessus de l'abîme une poutre longue de plus de 30 pieds, au moyen d'une grue et d'une poulie. Le moine, la tête couverte d'un casque de fer, et un crucifix à la main, fut descendu avec trois autres membres de l'association; ils restèrent toute une nuit sur la partie solide du sol du cratère, d'où ils firent des efforts inutiles pour puiser l'or prétendu, avec des vases de terre protégés par une enveloppe de fer. De peur d'effrayer les intéressés, ils convinrent de dire, s'ils sortaient de là, qu'ils avaient trouvé de grandes richesses, et que *el Infierno de Masaya* méritait d'être appelé dorénavant *el Paraiso de Masaya* (61). L'opération fut renouvelée plusieurs fois, jusqu'à ce que le gouverneur de Grenade, soit qu'il eût éventé la fraude, soit qu'il craignît que l'on fît tort au fisc, défendit de descendre dans le cratère avec des cordages. Cette mesure fut prise dans l'été de 1538 ; mais en 1551, le doyen du Chapitre de Léon, Juan Alvarez, obtint de la Cour de Madrid l'autorisation naïve « d'ouvrir le volcan, et de prendre tout l'or qu'il contenait, » tant étaient fermes au XVI[e] siècle les croyances populaires! En 1822, Monticelli et Covelli durent encore prouver à Naples, par des analyses chimiques, qu'il n'y avait point d'or dans les cendres que le Vésuve rejeta le 28 octobre (62).

Le volcan d'Izalco, sur la côte occidentale de l'Amérique centrale, à 8 milles au nord de San Salva-

dor, et à l'est du port de Sonsonate, a été soulevé onze ans plus tard que le volcan de Jorullo, situé fort avant dans l'intérieur du Mexique. Les deux apparitions ont eu lieu au milieu d'une plaine cultivée, à la suite de tremblements de terre et de grondements souterrains (bramidos), prolongés pendant plusieurs mois. Une colline en forme de cône sortit de terre dans le *Llano de Izalco*, et immédiatement, le 23 février 1770, un torrent de lave jaillit du sommet de cette éminence. On n'a pu déterminer encore ce qui, dans le rapide accroissement de la colline, provient du soulèvement du sol, et ce qui tient à l'accumulation des scories, des cendres et des masses tufacées; la seule chose certaine, c'est que depuis sa première éruption, le nouveau volcan, au lieu de s'éteindre presque aussitôt, comme le Jorullo, n'a point suspendu son activité, et que souvent il sert de phare aux marins qui viennent atterrir à la baie d'Acajutla. On compte par heure quatre éruptions ignées. La régularité de ce phénomène a toujours excité la surprise du peu de voyageurs qui l'ont observé exactement (63). La force des éruptions était variable, mais non la durée des intervalles. La hauteur que le volcan d'Izalco a atteinte, depuis la dernière éruption de 1825, est évaluée environ à 1 500 pieds; c'est à peu près la hauteur du volcan de Jorullo au-dessus de la plaine qui lui a livré passage; c'est près de quatre fois la hauteur à laquelle s'élève le cratère de soulèvement du Monte Nuovo, dans les champs Phlégréens, qui, d'après les mesures

exactes de Sccachi, est de 405 pieds (64). L'activité permanente du volcan d'Izalco, que l'on a considéré longtemps comme une soupape de sûreté pour la contrée avoisinant San Salvador, n'a pas conjuré cependant la catastrophe qui a détruit complétement la ville, dans la nuit de Pâques 1854.

L'une des îles du Cap-Vert, qui s'élève entre San Iago et Brava, a été appelée de bonne heure par les Portugais l'île de Feu, *Ilha do Fogo*, parce que, comme Stromboli, elle a lancé des flammes sans interruption, de 1680 à 1713. Après un long repos, le volcan de cette île s'est réveillé, dans l'été de 1798, peu de temps après la dernière éruption latérale du pic de Ténériffe, qui s'est fait jour à travers le cratère de Chahorra, appelé à tort le volcan de Chahorra, comme s'il formait une montagne distincte.

Le plus actif de tous les volcans de l'Amérique méridionale est le Sangay; il dépasse même tous les volcans en activité cités plus haut. Il est aussi nommé volcan de Macas, parce que les restes de cette ancienne ville, fort populeuse au commencement de la Conquista, sont situés sur le Rio-Upano, à 7 milles géographiques au Sud du Sangay. Cette montagne colossale, haute de 16 068 pieds, a surgi sur le versant Est de la Cordillère orientale, entre deux systèmes d'affluents qui vont grossir la rivière des Amazones, celui du Pastaza et celui de l'Upano. Le grand, l'incomparable phénomène que le Sangay offre actuellement paraît n'avoir commencé qu'en 1728. Lors de la mesure astronomique du degré exécutée par Bou-

guer et La Condamine, de 1738 à 1740, cette montagne a fait l'office d'un signal de feu perpétuel (65). Moi-même, en 1802, j'ai entendu pendant plusieurs mois, à Chillo près de Quito, dans la délicieuse maison de campagne du Marquis de Selvalegre, les grondements du Sangay, qu'un demi-siècle auparavant Don Jorge Juan avait entendus un peu plus au Nord-Est, près de Pintac, au pied de l'Antisana (66). En 1842 et 1843, les éruptions furent accompagnées de bruits plus violents que jamais, qui parvinrent distinctement, non-seulement au port de Guayaquil, mais jusqu'à Payta et San Buenaventura, le long des côtes de la mer du Sud; c'est-à-dire qu'ils franchirent une distance égale à celle qui sépare Bâle de Berlin, les Pyrénées de Fontainebleau, ou Londres d'Aberdeen. Depuis le commencement de ce siècle, plusieurs géognostes ont visité les volcans du Mexique, de la Nouvelle-Grenade, de Quito, de la Bolivie et du Chili; malheureusement la situation solitaire du Sangay, placé en dehors de toutes les voies de communication, l'a fait complétement négliger. Ce n'est qu'au mois de décembre 1849, qu'un savant et hardi voyageur, Sébastien Wisse, l'a gravi, après un séjour de cinq années dans la chaîne des Andes, et est parvenu presque jusqu'à l'extrémité de la cime neigeuse. En même temps qu'il déterminait exactement, à l'aide du chronomètre, la fréquence extraordinaire des éruptions, il a étudié la composition du trachyte, resserré sur un espace très-étroit, où il se fait jour à travers le gneiss. Sébastien Wisse a

compté 267 éruptions en une heure (67); chacune durait, en moyenne, 13″,4. Ce qu'il y a de très-surprenant, c'est que ces éruptions n'étaient accompagnées d'aucune secousse sensible, même sur le cône de cendres. Les matières rejetées par le volcan, au milieu d'une fumée abondante, de couleur tantôt grise tantôt orangée, sont, pour la majeure partie, un mélange de cendres noires et de rapillis; mais il lance aussi verticalement des scories de forme sphérique, qui n'ont pas moins de 15 à 16 pouces de diamètre. Dans l'une des éruptions les plus fortes, Wisse n'a pu compter que 50 ou 60 pierres incandescentes, rejetées simultanément. Le plus grand nombre de ces pierres retombe dans le gouffre; quelquefois elles recouvrent le bord supérieur du cratère ou glissent le long du cône, et jettent dans la nuit un éclat qui, aperçu à une grande distance par La Condamine, lui fit l'effet d'une éjection de soufre et d'asphalte enflammés. Les pierres montent isolément et successivement, de façon que les unes retombent déjà quand les autres quittent à peine le cratère. D'après une mesure exacte du temps, l'espace qu'elles parcourent, dans la partie de leur chute que l'œil peut suivre, c'est-à-dire jusqu'au bord supérieur du cratère, est, en moyenne, de 737 pieds. Les pierres lancées par l'Etna atteignent, d'après les mesures de Sartorius de Waltershausen et de l'astronome Christian Peters, une hauteur de 2500 pieds au-dessus des bords du cratère; les estimations de Gemellaro, durant l'éruption de 1832,

donnent un résultat trois fois plus considérable. La cendre noire forme, sur la pente du Sangay et dans un rayon de 3 milles, des couches épaisses de 300 à 400 pieds. La couleur de ces cendres et celle des rapillis donne à la partie supérieure du cône un aspect effroyable. Il est à propos, avant de terminer cette notice, de signaler encore les proportions gigantesques du Sangay, plus élevé six fois que le Stromboli, attendu que cette comparaison dément d'une manière formelle la croyance, beaucoup trop absolue, que les montagnes ignivomes les moins élevées sont celles qui fournissent toujours les éruptions les plus fréquentes.

Le groupement des volcans importe plus encore peut-être que leur configuration et leur altitude, parce qu'il conduit au grand phénomène géologique du soulèvement du sol sur les failles dont l'écorce terrestre est sillonnée. Ces groupes, soit que, d'après la division de Léopold de Buch, ils soient formés autour d'un volcan central, ou disposés en rangées, marquent les parties du sol où l'éruption des matières liquéfiées a rencontré le moins de résistance, par suite de la moindre épaisseur des couches rocheuses, ou en raison de leur conformation naturelle et de leur rupture originaire. L'espace sur lequel l'activité volcanique s'exerce d'une manière redoutable, dans l'Etna, les îles Éoliennes, le Vésuve et les champs Phlégréens, depuis Putéoli (Dicéarque), jusqu'à Cumes, et jusqu'à Ischia, l'île tyrrhénienne des Singes (Ænaria), où l'Epopeus lance des flammes, com-

prend trois degrés de latitude. Un tel rapprochement de phénomènes analogues ne pouvait échapper aux Grecs. On lit dans Strabon : « Toute la partie de la mer qui commence à Cumes et s'étend jusqu'à la Sicile, est en feu, et renferme dans ses profondeurs des cavernes qui communiquent entre elles et avec le continent (68). Cette nature est non-seulement celle de l'Etna, d'après le témoignage de tous ceux qui l'ont vu, mais aussi des îles Lipari et de toute la région qui entoure Dicéarque, Néapolis, Baja et Pithécuse. » De là naquit la fable que Thyphon était couché sous la Sicile, et que toutes les fois qu'il se remuait, il faisait jaillir des flammes et des eaux, que parfois même des îlots surgissaient au milieu des vagues bouillonnantes. « Souvent, dit encore Strabon, on a vu des flammes apparaître à la surface de la mer, dans le vaste espace compris entre Strongyle et Lipara. Le feu renfermé dans des cavernes profondes, se fait jour violemment du dedans au dehors. » Dans Pindare (69), le corps de Typhon occupe une telle étendue que la Sicile et les hauteurs bordées par la mer, qui s'étendent au-dessus de Cumes, c'est-à-dire les champs Phlégréens, reposent sur la poitrine velue du monstre.

Ainsi Typhon, ou Encelade que l'on a confondu avec lui, était, dans l'imagination des Grecs, la personnification mythique de la cause inconnue et cachée dans les profondeurs de la Terre, d'où naissaient les phénomènes volcaniques. La place qu'on lui assigne et l'espace qu'il remplit expriment la délimi-

tation et l'action commune de plusieurs systèmes volcaniques. Dans le grand tableau du monde que Platon a placé à la fin de son *Phédon*, sous cette image géologique de l'intérieur de la Terre, qui témoigne d'une imagination si puissante, cette action commune est étendue d'une manière plus hardie encore à l'ensemble de tous les systèmes. Tous les courants de lave tirent leur aliment du Pyriphlegeton qui, après avoir fait plusieurs circuits au-dessous de la Terre, va se jeter dans le Tartare. Platon dit formellement que les volcans, en quelque lieu qu'ils soient placés, font monter, par la puissance de leur souffle, les matières violemment arrachées au Pyriphlegeton (70). L'expression ἀποσπάσματα, dont se sert Platon, exprime assez bien la force d'impulsion du vent qui, enchaîné jusque-là, se fraye subitement une issue, force sur laquelle Aristote a fondé plus tard toute sa théorie des volcans.

D'après ces antiques aperçus, les rangées de volcans ont encore, pour l'observateur qui embrasse l'ensemble du corps terrestre, un caractère mieux déterminé que les volcans centraux. Cette disposition des volcans est surtout frappante, lorsqu'ils suivent de longues failles, le plus souvent parallèles entre elles, qui traversent en ligne droite de vastes contrées, comme les Cordillères. Pour nous en tenir à ces conditions, et ne citer que les chaînes les plus importantes, qui renferment les volcans les plus rapprochés les uns des autres, nous trouvons, dans le Nouveau Continent, la chaîne volcanique de

l'Amérique centrale et du Mexique, celles de la Nouvelle-Grenade et de Quito, du Pérou, de la Bolivie et du Chili; dans l'Ancien Continent : les îles de la Sonde, en particulier Java, la presqu'île de Kamtschatka et son prolongement dans les Kouriles, enfin les îles Aléoutiennes, limite méridionale de la mer presque fermée de Bering. Nous allons nous arrêter sur quelques-uns de ces groupes principaux. C'est en rapprochant les particularités que l'on peut espérer de découvrir les fondements des phénomènes.

La chaîne de l'Amérique centrale, qui relie les volcans anciennement désignés sous le nom de volcans de Costa Rica, de Nicaragua, de San Salvador et de Guatémala, s'étend depuis le volcan Turrialva, près de Cartago, jusqu'à celui de Soconusco, sur une étendue de six degrés de latitude, entre 10° 9′ et 16° 2′. Dirigée en général du Sud-Est au Nord-Ouest, et décrivant en outre quelques légères courbures, elle n'a pas moins de 135 milles géographiques : c'est à peu près la distance du Vésuve à Prague. Entre la *laguna de Managua* et la baie de Fonseca, entre le volcan de Momotombo et celui de Conseguina, dont le bruit souterrain, entendu, en 1835, à la Jamaïque et sur le plateau de Bogota, faisait l'effet de détonations d'artillerie, sont situés huit autres volcans, très-rapprochés les uns des autres, et qui semblent soulevés sur une seule et même faille, longue seulement de 16 milles géographiques. Dans l'Amérique centrale et dans toute la partie méridionale du Nou-

veau Continent, on peut même dire depuis l'archipel de los Chonos, au sud du Chili, jusqu'au volcan septentrional d'Edgecombe, dans la petite île voisine de l'île Sitka (71), et à celui du mont Elias, dans le *Prince William's Sund,* sur une étendue de 1 600 milles géographiques, les failles volcaniques sont partout ouvertes dans la partie occidentale, la plus rapprochée de la mer du Sud. A l'endroit où la chaîne volcanique de l'Amérique centrale entre dans l'état de San Salvador, au nord du golfe de Fonseca, près du volcan de Conchagua, par 13° 30′ de latitude boréale, son axe change avec celui des côtes, et prend la direction de l'Est Sud-Est à l'Ouest Nord-Ouest. Elle passe même presque décidément de l'Est à l'Ouest, à l'endroit où les montagnes ignivomes se retrouvent si rapprochées les unes des autres que l'on en peut compter cinq, plus ou moins actives, sur le faible espace de 30 milles. A cette déviation répond un gonflement considérable du continent, dans la presqu'île d'Honduras, où la côte orientale incline brusquement de l'Est à l'Ouest, depuis le cap *Gracias á Dios* jusqu'au golfe d'Amatique, c'est-à-dire dans une étendue de 75 milles, après avoir parcouru un espace égal parallèlement au méridien. Dans le groupe des hauts volcans du Guatémala, par 14° 10′ de latitude, la chaîne reprend son ancienne direction, N. 45° O., et continue ainsi jusqu'à la frontière du Mexique, du côté de Chiapa et de l'isthme de Huasacualco. Au Nord-Ouest du volcan de Soconusko et jusqu'à celui de Tuxtla, on n'a pas trouvé

un seul cône de trachyte éteint. Ce qui domine dans cette région, c'est du granite riche en quartz et du schiste micacé.

Les volcans de l'Amérique centrale ne couronnent pas les chaînes de montagnes; ils s'élèvent au pied de ces chaînes, et le plus grand nombre en est complétement séparé. Aux deux extrémités de la ligne sont situées les plus grandes élévations. Vers le Sud, à Costa Rica, on découvre les deux mers sur la cime du volcan de Cartago, l'Irasu; il est vrai que, outre la hauteur, la position plus centrale de la montagne concourt à élargir l'horizon. Au Sud-Est de Cartago s'élèvent des montagnes de 10 à 11 000 pieds : le Chiriqui (haut. 10567), et le Pico Blanco (haut. 11013). On ne sait rien des roches qui les composent; la vraisemblance est que ce sont des cônes trachytiques fermés. Plus loin vers le Sud-Est, à Veragua, les hauteurs s'abaissent et ne dépassent plus 5 ou 6 000 pieds. Cette élévation paraît être aussi l'élévation moyenne des volcans du Nicaragua et de San Salvador; mais à l'extrémité Nord-Ouest de toute la chaîne volcanique, non loin de la nouvelle ville de Guatémala, il existe deux volcans qui se relèvent à la hauteur de 12000 pieds. Les maxima tombent ainsi, d'après la classification hypsométrique que j'ai donnée plus haut, dans le troisième groupe, avec l'Etna et le Pic de Ténériffe, tandis que le plus grand nombre des hauteurs situées entre les deux extrémités dépassent à peine de 2 000 pieds la hauteur du Vésuve. Les volcans du Mexique, de la Nou-

velle-Grenade et de Quito appartiennent au cinquième groupe, et s'élèvent pour la plupart au-dessus de 16 000 pieds.

Bien que, à partir de l'isthme de Panama, et en traversant les provinces de Veragua, de Costa Rica et de Nicaragua, jusqu'à 11° 30′ de latitude boréale, on remarque déjà un élargissement sensible dans le continent de l'Amérique centrale, la vaste superficie du lac de Nicaragua, qui ne dépasse que de 120 pieds le niveau des deux mers (72), produit une telle dépression du sol, qu'il s'y forme, de la mer des Antilles à la mer du Sud, un grand courant d'air souvent funeste aux navigateurs qui traversent l'Océan réputé pacifique. Les tempêtes causées par ces vents du Nord-Est sont désignées sous le nom de *Papagayos*, et sévissent quelquefois pendant quatre ou cinq jours, sans interruption. Elles ont cela de remarquable que, tant qu'elles durent, il n'y a pas ordinairement un seul nuage au ciel. Le nom de Papagayos est emprunté au golfe de Papagayo, c'est-à-dire à la partie des côtes occidentales de l'État de Nicaragua comprise entre Brito ou Cabo Desolado et Punta S. Elena, c'est-à-dire entre 11° 22′ et 10° 50′, qui enferme, au sud du *Puerto de San Juan del Sur*, les petites baies de Salinas et de S. Elena. Dans une traversée de Guayaquil à Acapulco, j'ai pu sentir, pendant deux jours entiers, du 9 au 11 mars 1803, toute la violence des Papagayos, et observer les caractères particuliers de ces tempêtes. J'avais déjà cependant dépassé les parages indiqués plus haut, et me trouvais au Sud de

9° 3′ de latitude. Les flots étaient plus soulevés que je ne les ai jamais vus, et le Soleil, constamment visible sur un ciel d'azur, me permit de mesurer la hauteur des vagues, d'après une méthode qui n'avait point encore été expérimentée, par les hauteurs du Soleil au-dessus de l'extrémité des vagues et dans les profondeurs qu'elles creusaient. Tous les marins espagnols, anglais et américains attribuent aux vents alisés du Nord-Est, qui prennent naissance dans l'Océan Atlantique, les Papagayos de la mer du Sud (73).

Dans un nouveau travail sur les chaînes volcaniques de l'Amérique centrale, auquel je me livre avec beaucoup d'application, et qui sera composé en partie d'après des matériaux publiés, en partie d'après des notices manuscrites (74), 29 volcans sont énumérés, dont l'activité passée ou présente peut être estimée avec certitude. Les habitants en comptent un tiers de plus, mais ils font entrer en ligne de compte d'antiques bassins d'éruption, qui n'ont peut-être fait que livrer passage à plusieurs éruptions latérales, provenant d'un seul et même volcan. Parmi les cônes et les cloches isolées que les indigènes appellent des volcans, il est possible que plusieurs soient formés de trachyte et de dolérite; mais, constamment fermés depuis leur soulèvement, ils n'ont jamais donné trace d'activité. On ne peut pas considérer comme actuellement enflammés plus de 18 volcans. Sept ont vomi des flammes, des scories et des coulées de lave dans ce siècle, en 1825, 1835, 1848 et 1850; deux ont présenté les mêmes phénomènes à la fin du siècle dernier, en

1775 et 1799 (75). Se fondant sur l'absence de coulées de lave dans les puissants volcans des Cordillères de Quito, des géologues ont récemment affirmé, à plusieurs reprises, que cette absence était générale dans les volcans de l'Amérique centrale. A la vérité, les éruptions de scories et de cendres se sont produites généralement sans coulées de lave, et c'est ce qui arrive en ce moment au volcan d'Izalco; mais les émissions de lave, sorties des quatre volcans Nindiri, el Nuevo, Conseguina, San Miguel de Bosotlan, et décrites par des témoins oculaires, protestent contre cette assertion (76).

Je me suis arrêté à dessein sur tous les détails relatifs à la situation des volcans disposés en file serrée, qui forment les chaînes volcaniques de l'Amérique centrale, avec l'espérance qu'un géognoste, qui aurait étudié préalablement les volcans actifs de l'Europe et les volcans éteints de l'Auvergne, du Vivarais ou de l'Eifel, et qui serait capable, ce qui est de la plus haute importance, de décrire la composition des roches d'après les exigences de la minéralogie moderne, sentirait enfin le désir de visiter cette contrée, si accessible maintenant, et l'on peut dire si proche de nous. Il reste encore beaucoup à faire, lors même que ce voyageur se consacrerait exclusivement à des recherches géognostiques, et se proposerait surtout de déterminer, au point de vue de l'oryctognosie, les roches trachytiques, doléritiques et mélaphyriques, de séparer le soulèvement originaire et les parties recouvertes par des éruptions pos-

térieures, enfin de distinguer les véritables laves, qui se répandent en coulées étroites et continues, des scories amoncelées, que l'on confond trop souvent avec elles. Il importe aussi de séparer nettement les montagnes coniques qui s'élèvent en forme de dômes ou de cloches, et qui sont toujours restées fermées, des volcans encore actifs ou qui l'ont été, et qui vomissent des scories et des coulées de laves, comme le Vésuve et l'Etna, ou des scories et des cendres sans laves, comme le Pichincha et le Cotopaxi. Rien, que je sache, ne peut donner une impulsion plus rapide à la connaissance de l'activité volcanique, qui laisse encore tant à désirer, faute d'un nombre suffisant d'observations portant sur les grandes masses continentales. Si en outre, comme résultat matériel de ce vaste travail, on rapportait des collections de roches, recueillies sur un grand nombre de volcans proprement dits et de cônes trachytiques fermés, en ayant soin d'y joindre des fragments des couches non volcaniques, brisées par le soulèvement de cette double espèce de montagnes, on aurait ouvert à l'analyse chimique et aux déductions géologiques et chimiques dont l'analyse serait le point de départ un champ aussi large que fécond. L'Amérique centrale et Java ont, sur le Mexique, le royaume de Quito et le Chili, l'incontestable avantage d'offrir, dans un espace plus vaste, et avec moins d'intervalles, les modèles les plus divers des échafaudages à travers lesquels se manifeste l'activité volcanique.

Avec le volcan de Soconusko, situé par 16° 2′ de

latitude boréale, finit près de la frontière de la province de Chiapa, la chaîne volcanique de l'Amérique centrale, et commence un système tout différent, le système mexicain. Les isthmes de Huasacualco et de Tehuantepec, si importants pour le commerce avec la mer du Sud, sont, ainsi que l'état d'Oaxaca situé au Nord-Ouest, complétement dépourvus de volcans, peut-être même de cônes trachytiques fermés. Ce n'est qu'à 40 milles du volcan de Soconusko que s'élève, près de la côte d'Alvarado, par 18° 28′ de latitude, sur le versant oriental de la Sierra de San Martin, le petit volcan de Tuxtla, d'où est sortie, le 2 mars 1793, une grande éruption de flammes et de cendres. J'avais déterminé exactement, à l'intérieur du Mexique, dans l'ancien Anahuac, le lieu astronomique des volcans et des colosses neigeux ; à mon retour en Europe, au moment où j'insérais les maxima de hauteur dans ma grande carte de la Nouvelle-Espagne, l'examen de ces déterminations m'amena à reconnaître que, d'une mer à l'autre, il existe un parallèle de volcans et de points culminants, qui n'oscille que de quelques minutes autour du parallèle géographique de 19°. Les seuls volcans et en même temps les seules montagnes couvertes de neiges perpétuelles que renferme le pays, ce qui suppose, dans cette contrée, une élévation de plus de 11 ou 12000 pieds, le volcan d'Orizaba, le Popocatepetl, les volcans de Toluca et de Colima, sont situés entre 18° 59′ et 19° 20′, et semblent marquer la direction d'une faille volcanique, longue au moins de

90 milles, qui va de l'Est à l'Ouest (77). Dans la même direction, par 19° 9′, entre les volcans de Toluca et de Colima, à 29 milles de l'un et 32 milles de l'autre, sur un vaste plateau élevé de 2424 pieds, le volcan de Jorullo a surgi, le 14 septembre 1759, à la hauteur de 4002 pieds. L'emplacement de ce phénomène, comparé à la situation des autres volcans mexicains, et cette circonstance que la faille dirigée de l'Est à l'Ouest coupe presque à angle droit la grande chaîne de montagnes qui court du Sud-Sud-Est au Nord-Nord-Ouest, sont des faits géologiques non moins importants que le peuvent être la distance du Jorullo à la mer, les traces qu'a laissées son soulèvement et dont j'ai donné un dessin détaillé, les innombrables *hornitos* qui exhalent des vapeurs autour de la montagne, et les quartiers de granite que j'ai trouvés empâtés dans la coulée de lave, vomie par le volcan principal.

Le tableau suivant contient les déterminations de lieu et les hauteurs des volcans qui forment la chaîne volcanique d'Anahuac, sur une faille qui coupe, d'une mer à l'autre, la faille de la grande chaîne de montagnes.

ORDRE DES VOLCANS de l'Est à l'Ouest.	LATITUDE géographique.	HAUTEURS au-dessus de la mer.
Volcan d'Orizaba....	19° 2′ 17″	2796 toises.
Nevado Iztaccihuatl...	19° 10′ 3″	2456
Pòpocatepetl.........	18° 59′ 47″	2772
Volcan de Toluca.....	19° 11′ 33″	2372
Jorullo..............	19° 9′ 0″	667
Volcan de Colima....	19° 20′ 0″	1877

A 110 milles vers l'Ouest des côtes de la mer du Sud, le parallèle d'activité volcanique qui traverse la région tropicale du Mexique rencontre le groupe des îles Revillagigedo, dans le voisinage desquelles Collnet a vu nager de la pierre ponce. Peut-être même peut-on prolonger ce parallèle jusqu'à la distance de 840 milles, où il aboutit au grand volcan Mauna Roa, par 19° 28′ de latitude, bien que dans l'intervalle il n'y ait aucun soulèvement d'îles.

Les chaînes volcaniques de Quito et de la Nouvelle-Grenade comprennent une zone dans laquelle se manifeste actuellement la réaction de l'intérieur de la

Terre contre sa surface, et qui s'étend, en largeur, depuis 2° de latitude australe jusqu'à près de 5° de latitude boréale. Les deux extrémités de cette zone sont occupés par le Sangay, dont jamais l'activité n'est interrompue, et par le Paramo et le volcan de Ruiz, dont le dernier réveil a eu lieu en 1829, et que Charles Degenhardt a vu fumer, en 1831 de la *Mina de Santana*, dans la province de Mariquita, en 1833 de Marmato. A partir du volcan de Ruiz, ceux qui ont conservé les traces les plus remarquables de grands phénomènes éruptifs sont, dans la direction du Nord au Sud : le cône tronqué du volcan de Tolima (haut. 17010 pieds), qui tire sa célébrité du souvenir qu'a laissé l'effroyable éruption du 12 mars 1575; les volcans de Purace (haut. 15950 pieds), et de Sotara, près de Popayan; le volcan de Pasto (haut. 12620 pieds), près de la ville du même nom; ceux de *Monte de Azufre*, haut. 12030 pieds), près de Tuquerres, de Cumbal (haut. 14654 pieds), et enfin de Chiles, dans la province de Los Pastos. Puis, viennent des volcans d'un plus grand renom historique, situés sur le plateau de Quito proprement dit, au sud de l'Équateur, et parmi lesquels le Pichincha, le Cotopaxi, le Tungurahua et le Sangay peuvent être sûrement considérés comme n'étant pas éteints. Au nord du nœud de montagnes de Robles, près de Popayan, c'est parmi les trois cordillères qui composent la chaîne des Andes, celle du milieu, et non pas la cordillère occidentale, plus voisine de la mer du Sud, qui, ainsi que je l'exposerai

bientôt plus en détail, donne des signes d'activité volcanique; mais au sud de ce même nœud de montagnes, à l'endroit où les Andes ne forment plus que deux chaînes parallèles, si souvent mentionnées dans les écrits de Bouguer et de la Condamine, les montagnes ignivomes sont au contraire fort également réparties. Ainsi les quatre volcans des Pastos, aussi bien que le Cotocachi, le Pichincha, l'Iliniza, le Carguairazo et le Jana-Urcu, sont situés au pied du Chimborazo, sur la chaîne occidentale, la plus rapprochée de la mer, mais l'Imbabura, le Cayambe, l'Antisana, le Cotopaxi, le Tungurahua, qui s'élève en face du Cotopaxi, à peu près au milieu de l'étroit plateau qui sépare les deux chaînes parallèles, l'*Altar de los Collanes* autrement appelé le Capac-Urcu, et le Sangay appartiennent à la cordillère orientale. Lorsque l'on embrasse d'un coup d'œil le groupe le plus septentrional des chaînes volcaniques de l'Amérique méridionale, l'opinion souvent exprimée à Quito, en faveur de laquelle on peut invoquer des faits historiques, à savoir que l'activité volcanique se déplace et gagne en intensité du Nord au Sud, acquiert un certain degré de vraisemblance. Il est vrai que, du côté du Sud, près du Sangay gigantesque, qui ne le cède pas en activité au Stromboli, nous trouvons les ruines du Prince des Montagnes, du Capac-Urcu, qui a vraisemblablement surpassé le Chimborazo en hauteur, mais qui, vers la fin du xve siècle, 14 ans avant la conquête de Quito par le fils de l'Inca Tupac Yupanqui, s'est éteint en s'écroulant, et depuis ne s'est plus rallumé.

L'espace, qui dans la chaîne des Andes n'est point couvert par des groupes de volcans, est beaucoup plus considérable qu'on ne le croit d'ordinaire. Dans la partie septentrionale de l'Amérique du Sud, il existe, depuis le volcan de Ruiz et le cône de Tolima, qui forment l'extrémité septentrionale de la chaîne volcanique de la Nouvelle-Grenade et de Quito, jusque vers Costa Rica, au delà de l'isthme de Panama, où commence la chaîne de l'Amérique centrale, une contrée souvent et violemment ébranlée par des tremblements de terre, dans laquelle on a connaissance de salses vomissant des flammes, mais où l'on n'a point trouvé trace de volcans proprement dits. Ce pays a, en longueur, 157 milles géographiques, et forme une lacune qui n'est que la moitié de l'espace vide de volcans, compris entre le Sangay, extrémité méridionale du groupe de la Nouvelle-Grenade et de Quito, et le Chacani, près d'Arequipa, qui est le point où commence la chaîne volcanique du Pérou et la Bolivie; tant sont diverses et compliquées, dans une même chaîne de montagnes, les circonstances dont le concours est nécessaire pour former des failles permanentes, et assurer la libre communication de l'intérieur du globe avec l'atmosphère. Entre les groupes de trachyte et de dolérite, à travers lesquels s'exercent les forces volcaniques, on trouve des espaces moins étendus, où dominent le granite, la syénite, le schiste micacé, le schiste argileux, le porphyre quartzifère, des conglomérats siliceux, et enfin des roches calcaires, dont une partie considérable appartient, d'après

l'analyse que Léopold de Buch a faite des restes organiques rapportés par Degenhardt et par moi, à la formation crétacée. Ainsi que je l'ai fait voir ailleurs, l'apparition de plus en plus fréquente des roches labradoriques, riches en pyroxène et en oligoklase, annonce au voyageur attentif le passage d'une zone fermée jusque là sur elle-même, non volcanique, de porphyres dépourvus de quartz, pleins de feldspath vitreux et souvent très-riches en argent, à des régions volcaniques qui communiquent encore librement avec l'intérieur du corps terrestre.

La connaissance plus exacte que nous avons acquise tout récemment de la position et des limites des cinq groupes volcaniques appartenant aux régions tropicales du Mexique, à l'Amérique centrale, aux républiques de la Nouvelle-Grenade et de Quito, à celles du Pérou et de la Bolivie, et au Chili, nous a permis de reconnaître que, dans la partie des Cordillères comprise entre 19° 15′ de latitude boréale et 46° de latitude australe, qui, avec les courbures causées par les déviations de l'axe, n'a guère moins de 1 300 milles géographiques, la moitié à peu près de cette étendue est couverte de volcans; le calcul donne 635 milles contre 607 (78). Si l'on cherche ensuite à répartir l'espace vide de volcans entre les cinq groupes cités plus haut, on trouve que la plus grande distance est celle qui sépare la chaîne de Quito et celle du Pérou; cette distance est de 240 milles. Au contraire, les groupes les plus rapprochés sont les deux premiers, c'est-à-dire le groupe du Mexique et celui de l'Amé-

rique centrale. Les intervalles qui séparent les cinq groupes sont entre eux comme les nombres 75, 157, 240, 135. La grande distance du volcan le plus méridional de Quito au volcan le plus septentrional du Pérou paraît d'abord d'autant plus surprenante que, d'après un ancien usage, on a coutume d'appeler la mesure de degré exécutée sur le plateau de Quito la mesure péruvienne. La partie méridionale des Andes du Pérou, qui est la moins considérable, est seule volcanique. Le tableau suivant indique le nombre des volcans contenus dans chaque groupe; il a été dressé après une discussion approfondie des matériaux les plus récents.

GROUPES DE CHAÎNES VOLCANIQUES compris entre 19° 25' de latitude Nord et 46° 8' de latitude Sud.	NOMBRE DES VOLCANS contenus dans chaque groupe.	NOMBRE DES VOLCANS qui peuvent être encore considérés comme actifs.
Groupe du Mexique (79)...	6	4
Groupe de l'Amérique centrale (80).............	29	18
Groupe de la Nouvelle Grenade et de Quito (81)....	18	10
Groupe du Pérou et de la Bolivie (82)............	14	3
Groupe du Chili (83).......	24	13

Ainsi, les cinq groupes américains donnent un total de 91 volcans, dont 56 appartiennent au continent de l'Amérique méridionale. Je comprends, sous la dénomination de volcans, outre ceux qui sont encore enflammés, les échafaudages dont les éruptions appartiennent aux temps historiques, ou dont la structure et les masses éruptives, j'entends les cratères de soulèvement et d'éjection, les laves, les scories, les ponces et les obsidiennes les désignent, par delà toute tradition, comme des volcans depuis longtemps éteints. Les cônes et les dômes de trachyte sans ouverture, ou les longues croupes de trachyte également fermées, ne rentrent pas dans cette catégorie. C'est là le sens que Léopold de Buch, Charles Darwin et Frédéric Naumann ont donné au mot volcan, dans leurs énumérations géographiques. J'appelle des volcans enflammés, ceux qui, considérés de très-près, portent encore, à des degrés divers, des signes d'activité, et dont une partie a donné passage, dans des temps rapprochés de nous, à des éruptions constatées historiquement. La condition, exprimée par ces mots « considérés de très-près », est importante, parce que, vues de la plaine, les vapeurs légères qui s'échappent du cratère à une grande hauteur peuvent rester inaperçues. N'a-t-on pas contesté, à l'époque de mon voyage en Amérique, que le Pichincha et le grand volcan du Mexique, le Popocatepetl, fussent encore enflammés? Depuis, un hardi voyageur, Sébastien Wisse (84), a compté, dans le cratère du Pichincha, autour du grand cône d'érup-

tion encore actif, 70 bouches ou fumarolles enflammées; et, moi-même, j'ai été, au pied du Popocatepetl, dans le *Malpais del Llano de Tetimpa*, où je mesurais une base trigonométrique, témoin oculaire d'une éruption de cendres parfaitement manifeste (85).

La chaîne volcanique de la Nouvelle-Grenade et de Quito, qui, sur 18 volcans, en possède 10 encore enflammés, et a une longueur double environ de celle des Pyrénées, peut se subdiviser en quatre groupes moins considérables, à savoir : le Paramo de Ruiz et le volcan de Tolima, situé à peu de distance, par 4° 55′ de latitude Nord, d'après Acosta; le Puracé et le Sotara, près de Popayan, par 2° 15′; les volcans de Tuquerres et de Cumbal, dans la province de los Pastos, entre 2° 20′ et 0° 50′; enfin la rangée de volcans qui s'étend du Pichincha, voisin de la ville de Quito, jusqu'au Sangay, dont jamais l'activité n'est interrompue, c'est-à-dire depuis l'équateur jusqu'à 2° de latitude australe. Cette dernière subdivision, ne se distingue, parmi les chaînes volcaniques du Nouveau-Monde, ni par sa longueur ni par le rapprochement des volcans qui la composent. On sait aujourd'hui qu'elle ne renferme pas non plus les cimes les plus élevées; car l'Aconcagua, situé dans le Chili, par 32° 39′ (haut. 21 584 pieds d'après Kellet, 22 434 d'après Fitz-Roy et Pentland), les Nevados de Sahama (haut. 20 970), le Parinacota (haut. 20 670 pieds, le Gualateiri (haut. 20 604 pieds) et le Pomarape (haut. 20 360 pieds), tous compris entre 18° 7′

et 18° 25′ de latitude australe, sont décidément considérés comme plus élevés que le Chimborazo, qui n'a que 20 100 pieds. Néanmoins, les volcans de Quito sont les plus renommés entre tous les volcans du Nouveau-Monde. Cette célébrité vient de ce que, au plateau de Quito est attaché le souvenir de travaux astronomiques, géodésiques, optiques, barométriques, travaux importants par les efforts qu'ils ont coûté comme par le but auquel ils tendaient, et qui ont immortalisé les noms de Bouguer et de La Condamine. Dans les contrées dont l'intelligence a pris possession, où ont été agitées de nombreuses idées qui ont aidé au développement des sciences, la gloire reste longtemps un attribut local. C'est ainsi que, dans les Alpes suisses, la célébrité s'est attachée de préférence au Mont-Blanc, non pas en raison de sa hauteur, qui ne dépasse que de 523 pieds celle du Mont-Rose, non pas à cause des périls qu'il faut affronter pour le gravir, mais en souvenir des grandes vues physiques et géologiques qui illustrent le nom de Saussure et le théâtre de son infatigable activité. La Nature se montre grande surtout lorsque, en agissant sur les sens, elle se reflète dans les profondeurs de la pensée.

La chaîne volcanique du Pérou et de la Bolivie, qui appartient encore tout entière à la zone équinoxiale, et sur laquelle, d'après Pentland, la limite des neiges éternelles ne commence qu'à partir de 15 900 pieds, atteint le maximum de sa hauteur, à égale distance environ de ses deux extrémités, dans

le groupe de Sahama, entre 18° 7′ et 18° 25′ de latitude australe. En cet endroit, près d'Arica, le rivage forme une inflexion arrondie et très-sensible, à laquelle répond un changement subit de direction dans l'axe de la chaîne des Andes et dans la ligne volcanique qui court parallèlement à l'Ouest. De là, le rivage et la faille volcanique reprennent la direction du Sud, non plus celle du Sud-Est au Nord-Ouest, mais celle même du méridien, qu'ils conservent jusqu'à l'entrée occidentale du détroit de Magellan, sur une étendue de plus de 500 milles géographiques. En parcourant la carte des embranchements et des nœuds de la chaîne des Andes, que j'ai publiée en 1841, on est frappé de beaucoup d'autres rapprochements du même genre, entre le contour du Nouveau Continent et la direction de la Cordillère, plus ou moins rapprochée de la côte. Ainsi, depuis le promontoire Aguya jusqu'à San Lorenzo, c'est-à-dire de 5° 30′ à 1° de latitude australe, la côte de l'océan Pacifique et la Cordillère courent directement du Sud au Nord, après avoir, toutes deux, incliné, pendant si longtemps du Sud-Est au Nord-Ouest, entre les parallèles d'Arica et de Caxamarca ; ainsi encore la côte et la Cordillère prennent franchement la direction du Sud-Ouest au Nord-Est, depuis le nœud de montagnes d'Imbaburu, près de Quito, jusqu'à celui de los Robles, près de Popayan (86). Il paraît difficile de démêler les causes géologiques dont l'action commune détermine l'accord entre les contours des continents et la direction des chaînes de montagnes voisines,

accord si souvent manifesté dans les Cordillères de l'Amérique du Sud, dans les Alleghanys de l'Amérique du Nord, dans les montagnes de la Norwége et les Apennins.

Bien que ce soit actuellement la branche occidentale de la chaîne des Andes, c'est-à-dire la plus voisine de la mer du Sud, qui donne le plus de témoignages de son activité volcanique, un observateur fort expérimenté, Pentland, a trouvé, au pied de la chaîne orientale, à plus de 45 milles géographiques de la côte, un cratère parfaitement conservé, quoique éteint, avec des coulées de lave qu'il est impossible de méconnaître. Ce cratère forme le couronnement d'un cône situé non loin de San Pedro de Cacha, dans la vallée de Yucay, haute de 11 300 pieds (latit. austr., 14° 8'; longit. 73° 40') au Sud-Est de Cuzco, où la chaîne neigeuse orientale d'Apolobamba, de Carabaya et de Vilcanoto incline dans la direction du Sud-Est au Nord-Ouest. Ce point, digne de l'attention des voyageurs, est marqué par les ruines d'un temple célèbre, dû à l'Inca Viracocha (87). L'antique volcan, signalé par Pentland, est beaucoup plus éloigné de la mer que le Sangay, qui appartient également à une branche orientale de la Cordillère; il l'est plus aussi que l'Orizaba et le Jorullo.

Un intervalle sans volcans, de 135 milles de longueur, sépare la chaîne volcanique du Pérou et de la Bolivie de celle du Chili; il n'y a pas, en effet, une moindre distance entre l'éruption qui s'est produite

dans le désert d'Atacama et le volcan de Coquimbo. 2° 34′ plus au Sud, le groupe du Chili atteint son maximum de hauteur dans le volcan d'Aconcagua, haut de 21 584 pieds, qui, d'après l'état actuel de nos connaissances, est aussi le point culminant de toutes les cimes du Nouveau-Monde. La hauteur moyenne du groupe de Sahama, dans la Bolivie, est de 20 650 pieds; elle dépasse aussi par conséquent de 550 pieds la hauteur du Chimborazo. Puis viennent, en décroissant rapidement, le Cotopaxi, l'Arequipa (?) et le Tolima, dont les altitudes sont comprises entre 17 712 et 17 010 pieds. Je donne, avec une apparente précision et sans correction, les résultats de mesures malheureusement composées de déterminations trigonométriques et barométriques, parce que c'est, je pense, la meilleure manière de provoquer des mesures nouvelles, et d'arriver à des notions plus sûres. Il est à regretter que, dans la chaîne du Chili, dont j'ai cité vingt-quatre volcans, on n'en ait encore déterminé hypsométriquement qu'un petit nombre. On a mesuré les moins élevés et les plus méridionaux, ceux qui sont compris entre les parallèles de 37° 20′ et 43° 40′, depuis Antuco jusqu'à Yantales, et l'on a trouvé que la hauteur de ces volcans ne dépasse pas six à huit mille pieds. Au milieu même de la Terre de Feu (Tierra del Fuego), s'élève la cime éternellement neigeuse du Sarmiento qui, suivant Fitz-Roy, ne s'élève pas au delà de 6 400 pieds. Du volcan de Coquimbo au volcan San Clemente, on compte 242 milles.

Nous possédons, sur l'activité des volcans chiliens, l'important témoignage de Charles Darwin (88), qui cite formellement, comme encore enflammés, l'Osorno, le Corcovabo et l'Aconcagua, les témoignages de Meyen, de Pœppig et de Gay, qui ont gravi le Maypo, l'Antuco et le Peteroa, enfin ceux de Domeyko, de l'astronome Gilliz et du Major Philippi. On peut, d'après ces autorités, fixer à treize le nombre des volcans enflammés; c'est cinq de moins seulement que dans le groupe de l'Amérique centrale.

Des cinq groupes qui composent les chaînes volcaniques du nouveau continent, et dont la situation ainsi que la hauteur peuvent être indiquées d'après des déterminations de lieux astronomiques, et le plus souvent aussi d'après des mesures hypsométriques, nous passons aux chaînes de l'ancien monde, dans lequel, contrairement à ce que nous venons de voir, les files les plus serrées de volcans appartiennent non aux continents, mais aux îles. Le plus grand nombre des volcans européens, y compris le grand cratère situé entre Thera, Therasia et Aspronisi, et qui a donné bien des preuves successives de son activité, se trouvent réunis dans la Méditerranée, et même dans la partie de cette mer désignée sous le nom de mer Tyrrhénienne et de mer Égée. En Asie, les volcans les plus puissants sont répartis dans les grandes et les petites îles de la Sonde, les Moluques et les Philippines, dans les archipels du Japon, des Kouriles et des îles Aléoutiennes, au sud et à l'est du continent.

Dans aucune région de la surface terrestre ne se

manifestent des traces aussi récentes d'une communication active entre l'intérieur et l'extérieur de notre planète que dans l'étroit espace, offrant à peine une étendue de 800 milles carrés, qui s'étend entre 10° de latitude australe et 14° de latitude boréale, et entre les méridiens qui passent par l'extrémité méridionale de la presqu'île Malacca, et par la pointe occidentale de la presqu'île des Papouas, dans la Nouvelle-Guinée. Cet archipel volcanique égale à peine la Suisse en étendue, et est baigné par les mers de la Sonde, de Banda, de Solo et de Mindoro. La seule île de Java, bien qu'elle n'ait pas de l'Est à l'Ouest plus de 136 milles géographiques, renferme encore aujourd'hui un plus grand nombre de volcans enflammés que toute l'Amérique du Sud, qui a une longueur sept fois égale. Après une longue attente, un savant naturaliste, aussi hardi qu'infatigable, Franz Junghuhn, a répandu un nouveau jour sur la constitution géognostique de Java, en se servant des travaux fort méritoires, bien qu'incomplets, de Horsfield, de sir Thomas Stamfort Raffles et de Reinwardt. A la suite d'un séjour de plus de douze ans, il a embrassé toute l'histoire naturelle du pays, dans un intéressant ouvrage sur Java, sa Forme, sa Végétation et sa Structure intérieure. Plus de 400 hauteurs ont été mesurées barométriquement, avec le plus grand soin. Les cônes et les cloches volcaniques, au nombre de 45, ont été représentés en profil, et gravis deux ou trois fois par Junghuhn (89). On s'est assuré que plus de la moitié de ces volcans, 28 au moins, sont encore actifs et vomissent des flam

mes. Leurs reliefs, si remarquables et si divers, ont été decrits avec une merveilleuse clarté ; l'auteur a même remonté, dans l'histoire de leurs éruptions, aussi loin qu'il était possible d'atteindre. L'île de Java n'offre pas moins d'intérêt par ses couches sédimentaires de formation tertiaire que par ses phénomènes volcaniques. Ces terrains, qui, avant le grand travail de Junghuhn, étaient complétement inconnus, couvrent les 3/5 de l'île, surtout la partie méridionale. En plusieurs endroits de Java, des fragments de troncs d'arbres pétrifiés, longs de trois à sept pieds, et appartenant tous à la classe des dicotylédonées, sont les derniers débris d'antiques et vastes forêts. Cela est d'autant plus surprenant, pour un pays où croissent actuellement en abondance les palmiers et les fougères, que, en Europe, dans les terrains tertiaires de la formation houillère, où ne peuvent plus croître les monocotylédonées arborescentes, on rencontre souvent des palmiers fossiles (90). Grâce au soin qu'a pris Junghuhn de recueillir des feuilles d'arbres fossiles et des troncs pétrifiés, Gæppert a pu, en y apportant sa part de travail, publier la flore antédiluvienne de Java, comme le premier spécimen de la flore fossile d'une contrée véritablement tropicale.

Sous le rapport de la hauteur, les volcans de Java le cèdent de beaucoup aux trois groupes du Chili, de la Bolivie et du Pérou, même à ceux de Quito et de la Nouvelle-Grenade, et des régions tropicales du Mexique. Les maxima des groupes américains sont com-

pris, pour le Chili, la Bolivie et Quito, entre 20 000 et 21 600 pieds; ils sont, pour le Mexique, de 17 000. Ces nombres dépassent de près de 10 000 pieds, c'est-à-dire environ de la hauteur de l'Etna, la plus grande altitude des volcans de Sumatra et de Java. Junghuhn a gravi, au mois de septembre 1844, le colossal Gunung-Semeru, encore actif, et point culminant de toute la chaîne volcanique de Java. La moyenne de ses mesures barométriques a donné 11 480 pieds au-dessus du niveau de la mer, c'est-à-dire 1 640 pieds au-dessus du sommet de l'Etna. Durant la nuit, le thermomètre tomba au-dessous de 6°.2. Le Gunung-Semeru était appelé anciennement Mahâ-Mêru, le grand Mêru; ce nom sanscrit rappelle le temps où les Malais reçurent la civilisation indienne, il est aussi un souvenir de la montagne septentrionale du Monde qui, dans le *Mahabharata*, est le siége mythique de Brama, de Wischnou et des sept Dêvarschis ou des sept Sages divins (91). On s'est étonné que les indigènes de la haute plaine de Quito aient deviné, antérieurement à toute mesure, que le Chimborazo dépasse toutes les montagnes neigeuses de la contrée; il n'est pas moins étonnant que les Javanais aient su que la montagne sacrée du Mahâ-Mêru, peu éloignée du Gunung Ardjuno, lequel s'élève à 10 350 pieds, atteint le maximum d'altitude dans l'île de Java. Pourtant, dans un pays sans neige, on ne pouvait pas plus se guider sur la distance du sommet à la limite inférieure des neiges éternelles que sur la hauteur de la neige accidentelle et temporaire (92).

Après le Gunung-Semeru, haut de plus de 11 000 pieds, viennent quatre volcans, dont la hauteur varie, d'après des mesures hypsométriques, de 10 000 à 11 000 pieds : ce sont le Gunung-Slamat (93) ou montagne de Tegal (haut. 10 430 pieds), le Gunung-Ardjuno (haut. 10 350 pieds), le Gunung-Sumbing (haut. 10 348 pieds) et le Gunung-Lawu (haut. 10 065 pieds). On sait aujourd'hui qu'il existe à Java sept volcans compris entre 9 000 et 10 000 pieds; ces résultats importent, en ce sens qu'on ne supposait pas autrefois qu'il y eût dans l'île une seule montagne au-dessus de 6000 pieds (94). Parmi les cinq groupes des volcans américains, il n'y en a qu'un seul, mais il y en a un, dont la hauteur moyenne est inférieure à celle du groupe de Java. En effet, bien que près de la vieille ville de Guatemala, le volcan de Fuego atteigne, d'après le calcul et la réduction de Poggendorff, 12 300 pieds, 820 pieds de plus que le Gunung-Semeru, le reste de la chaîne volcanique est compris entre 5 000 et 7 000 pieds, tandis que celle de Java, varie de 7 000 à 11 000. Ce n'est pas d'ailleurs dans l'archipel de la Sonde, mais dans le continent, qu'il faut chercher le volcan le plus élevé de l'Asie ; le volcan Klutschewsk, dans la presqu'île du Kamtschatka, s'élève à 14 790 pieds, presque à la hauteur du Rucu-Pichincha, dans la Cordillère de Quito.

La chaîne de Java, qui contient plus de 45 volcans, suit, dans son axe principal, la direction de l'Ouest-Nord-Ouest à l'Est-Sud-Est, exactement O. 12° N. (95) ; elle est, dans la plus grande partie de son

cours, parallèle à la chaîne volcanique de la partie orientale de Sumatra, non point à l'axe longitudinal de Java. Cette direction générale de la chaîne volcanique n'exclut pas le phénomène signalé aussi tout récemment dans la grande chaîne de l'Himalaya, à savoir que, çà et là, trois ou quatre hauts sommets se trouvent détachés des autres, et rangés de telle façon que les axes secondaires de ces chaînes partielles coupent obliquement l'axe principal de la grande chaîne. Ces accidents des failles, que Hodgson, Joseph Hooker et Strachey ont observés et représentés en partie, sont d'un grand intérêt (96). Quelquefois les petits axes des failles accessoires se rattachent à la faille principale sous un angle presque droit et souvent, même dans les chaînes volcaniques, ce sont les maxima de hauteur qui se trouvent en dehors du grand axe. Comme dans la plupart des rangées de volcans, on ne remarque point à Java de rapport déterminé entre la hauteur de la montagne et la grandeur du cratère qui en couronne le sommet. Les deux plus grands cratères appartiennent au Gunung-Tengger et au Gunung-Raon. Le Gunung-Tengger est une montagne de troisième classe, haute seuement de 8 165 pieds ; cependant son cratère, de forme circulaire, a un diamètre de plus de 20 000 pieds, c'est-à-dire d'un mille géographique environ. La plaine qui forme le sol du cratère est une mer de sable, dont la surface est à 1 750 pieds au-dessous du point culminant de l'enceinte, et d'où s'élèvent çà et là des masses de lave scorifiées, à travers

une couche de rapillis en poudre. D'après le relevé trigonométrique exécuté avec tant d'exactitude par le capitaine Wilkes et les excellentes observations de Dana, l'immense cratère de Kirauea dans l'île d'Hawaii, qui est rempli de laves brûlantes, n'atteint pas lui-même aux dimensions du cratère du Gunung-Tengger. Au milieu de ce dernier cratère, s'élèvent quatre petits cônes d'éruption, véritables gouffres en forme d'entonnoir et entourés d'une enceinte, dont un seul, le Bromo, a cessé de lancer des flammes. Le mot Bromo qui vient du nom mythologique Brahma a, dans les dictionnaires de la langue Kawi, le sens de feu, que Brahma n'a pas en sanscrit. Le Bromo présente ce remarquable phénomène que, de 1838 à 1842, il s'est formé dans son entonnoir un lac, qui, ainsi que l'a démontré Junghuhn, doit son origine à l'affluence des eaux atmosphériques, chauffées et acidulées par l'infiltration de vapeurs sulfureuses (97). Après le cratère du Gunung-Tengger, le plus vaste est celui du Gunung-Raon, qui a cependant un diamètre de moitié moindre, mais une profondeur à donner le vertige, que l'on évalue à plus de 2250 pieds. Néanmoins, ce remarquable volcan, haut de 9550 pieds, dont Junghuhn a fait l'ascension et donné une description si détaillée (98), n'est point marqué sur la carte, excellente d'ailleurs, de Raffles.

Un phénomène important, commun aux volcans de Java, et à presque toutes les chaînes volcaniques, c'est que la simultanéité des grandes éruptions est beaucoup plus rare entre les cônes voisins les uns

des autres qu'entre ceux qui sont séparés par des distances considérables. Dans la nuit du 11 au 12 août 1772, durant l'éruption enflammée du Gunung-Pependajan, haut de 6 600 pieds, l'éruption la plus violente qui ait ravagé l'île depuis les temps historiques, deux autres volcans, le Gunung-Tjerimaï et le Gunung-Slamat, situés en droite ligne, à 46 et à 88 milles géographiques du Pependajan, s'enflammèrent aussi (99). Bien que tous les volcans d'une même chaîne s'élèvent au-dessus d'un même foyer, il est certain que le réseau des failles par lesquelles ils communiquent entre eux est compliqué de telle manière que l'obstruction d'anciens canaux, ou les ouvertures temporaires qui se pratiquent dans le cours des siècles, expliquent des éruptions simultanées sur des points fort distants. A ce sujet, je rappellerai la colonne de fumée qui sortait du volcan de Pasto et qui disparut subitement dans la matinée du 4 février 1797, au moment où l'effroyable tremblement de terre de Riobamba ébranla la haute plaine de Quito, entre le Tunguragua et le Cotopaxi (100).

On attribue en général aux volcans javanais une forme cannelée dont je n'ai vu d'exemple ni dans les îles Canaries, ni au Mexique, ni dans les Cordillères de Quito. Le voyageur auquel nous devons de si précieuses observations sur la structure des volcans de Java, la géographie des plantes, et leurs rapports thermométriques et hygrométriques, Junghuhn, a décrit si clairement le caractère distinctif des volcans javanais que, pour donner l'impulsion à de nouvelles

recherches, le meilleur moyen est sans doute de signaler à l'attention le passage où il parle de cette configuration symétrique. « Bien, dit-il, que la surface du Gunung-Sumbing, haut de 10 300 pieds, n'offre, lorsqu'on l'aperçoit à quelque distance, qu'une pente non interrompue et uniformément inclinée, on trouve, en y regardant de plus près, qu'elle est composée de saillies longitudinales ou de côtes étroites qui, en descendant, s'écartent et s'élargissent de plus en plus. Leur point de départ est au sommet du volcan, ou plus souvent sur une éminence placée à quelques centaines de pieds au-dessous du sommet; de là elles rayonnent de tous les côtés, à peu près comme les baleines d'un parapluie. » Quelquefois ces côtes longitudinales décrivent de courtes sinuosités, mais toutes ont cela de commun, qu'elles sont formées par des sillons de 300 à 400 pieds de profondeur, placés à côté l'un de l'autre, dirigés dans le même sens, et s'élargissant à mesure qu'ils s'éloignent du sommet. Ces sillons se retrouvent sur les pentes de tous les volcans javanais; mais, d'un cône à l'autre, leurs profondeurs moyennes varient sensiblement, ainsi que les intervalles qui séparent les bords du cratère ou le sommet fermé de l'endroit où ils prennent naissance. Le Gunung-Sumbing, haut de 10 348 pieds, est un des volcans qui offrent les cannelures les plus belles et les plus régulières, ce qui tient peut-être à ce que cette montagne a été dépouillée de ses forêts et n'est couverte que d'une couche d'herbes. D'après les mesures publiées par Junghuhn, les côtes se multiplient

et se ramifient, à mesure que diminue l'angle d'inclinaison du sol (1). Au-dessus de la zone de 9 000 pieds, il n'y a guère, dans le Gunung-Sumbing, que dix sillons; à 8 500 pieds, il y en a 32; à 5 500, 72; à 3 000, plus de 95; en même temps l'angle d'inclinaison a diminué de 37° à 25° puis à 10°1/2. Les sillons du Gunung-Tengger, haut de 8 165 pieds, sont presque aussi réguliers. Il n'en est pas de même sur le Gunung-Ringgit, par suite des éruptions formidables qui les ont comblés et détruits (2). Junghuhn estime que la formation de ces côtes longitudinales ou des ravines qui les séparent, et dont il a publié des dessins, est due à l'érosion des eaux courantes.

Cela s'explique, si l'on songe que les eaux pluviales sont, en moyenne, trois ou quatre fois plus abondantes dans cette contrée tropicale que dans la zone tempérée. Les nuages, en crevant, déversent de véritables torrents. Bien qu'en général l'humidité diminue avec la hauteur des couches atmosphériques, les grandes montagnes coniques exercent sur les nuages une attraction particulière, et les éruptions volcaniques sont, ainsi que je l'ai déjà remarqué ailleurs, des causes déterminantes d'orages. La formation des ravines et des vallées (*Barrancos*), souvent décrites par Léopold de Buch et par moi (3), et que le voyageur est heureux de rencontrer dans les volcans des îles Canaries et dans les Cordillères de l'Amérique méridionale, parce qu'ils lui révèlent l'intérieur de la montagne, et le mènent quelquefois près du faîte ou jusqu'à l'enceinte d'un cratère de soulèvement, offrent

de l'analogie avec les cavités qui sillonnent les volcans de Java ; mais bien que, en certaines saisons, ces ravins servent de conduits aux eaux pluviales qui s'y rassemblent, ce n'est pas à l'action des eaux que doit être attribuée l'origine première des Barrancos (4). Les crevasses, résultat du plissement qui s'est opéré dans la masse trachytique soulevée à l'état pâteux, et qui ne s'est solidifiée que plus tard, sont, selon toute probabilité, antérieures aux effets d'érosion et au choc des eaux. Dans toutes les régions volcaniques où j'ai pu voir des Barrancos profondément creusés sur la pente des montagnes en forme de cône ou de cloche (en las faldas de los Cerros barrancosos) je n'ai reconnu aucune trace d'un rayonnement régulier et des ramifications que présentent les reliefs singuliers des volcans de Java, tels que nous les ont fait connaître les ouvrages de Junghuhn (5). La plus grande analogie entre ces deux phénomènes consiste dans ce fait, signalé par Léopold de Buch et par l'ingénieux observateur des volcans, Poulett-Scrope, à savoir que les grandes fissures suivant presque toujours la direction normale des pentes, rayonnent, sans se ramifier, du centre de la montagne et ne forment pas avec les versants des angles droits ou aigus.

La croyance à l'absence complète de coulées de lave, dans l'île de Java, vers laquelle semblait pencher Léopold de Buch, d'après les observations du savant Reinwardt, a été singulièrement ébranlée par des observations plus récentes (6). Junghuhn remarque, à

la vérité, que le puissant volcan Gunung-Merapi, dans la période historique de ses éruptions, n'a plus formé des coulées de laves continues et compactes, et qu'il n'a rejeté que des débris de lave ou des quartiers de pierre détachés, bien qu'en 1837 on ait vu, pendant neuf mois de suite, des bandes de feu descendre la nuit, le long du cône d'éruption (7). Mais le même voyageur, si attentif à tous les phénomènes de la nature, a décrit clairement et de la manière la plus circonstanciée trois coulées de lave noire, basaltique, sur trois volcans, le Gunung-Tengger, le Gunung-Idgen et le Slamat (8). Sur le Slamat, la coulée de lave se prolonge, après avoir occasionné une chute d'eau, jusque dans les terrains tertiaires (9). En décrivant l'éruption du Gunung-Lamongan, qui se produisit le 6 juillet 1838 (10), Junghuhn distingue très-nettement les coulées de lave proprement dites, formant des masses continues, et ce qu'il appelle des torrents de pierres, qui consiste en débris enflammés, la plupart anguleux, rejetés sans interruption par le volcan. « On entendait, dit-il, le craquement des pierres qui s'entre-choquaient, et qui, semblables à des points enflammés, roulaient en bas à la file ou pêle-mêle. Ce n'est pas sans dessein que je signale les apparences très-diverses que peuvent prendre les masses incandescentes, en roulant sur la pente d'un volcan, parce que, dans les débats auxquels a donné lieu le maximum de l'angle que forme la chute de la lave, on a pu quelquefois confondre avec ces coulées continues des

masses de scories courant les unes apres les autres, et formant en effet de véritables torrents de pierres.

Comme dans ces derniers temps, à l'occasion des volcans de Java, on a souvent soulevé, sans y apporter toutefois une attention assez sérieuse, la question de la rareté et de l'absence complète des coulées de lave, question importante et qui touche à la constitution intérieure des volcans, il me paraît opportun de la traiter ici sous un point de vue plus général. Bien que, selon toute vraisemblance, dans un groupe de volcans ou dans une chaîne volcanique, toutes les montagnes aient certaines relations avec le foyer universel, c'est-à-dire avec les masses en fusion qui remplissent le centre de la Terre, cependant chacune d'elles se distingue des autres par des caractères physiques et chimiques, d'où dépendent la force et la fréquence de ses manifestations volcaniques, la nature de ses produits, le degré et la forme de leur fluidité. Ces particularités ne peuvent s'expliquer ni par la différence des configurations ni par celle des hauteurs au-dessus de niveau actuel de la mer. Le colossal Sangay a des éruptions incessantes, aussi bien que l'humble Stromboli. De deux volcans, voisins l'un de l'autre, l'un rejette de la ponce sans obsidienne, l'autre lance ces deux substances à la fois; de l'un il ne sort que des scories désagrégées, l'autre vomit des laves qui coulent en torrents étroits. Un grand nombre de volcans paraissent n'avoir pas offert les mêmes signes caractéristiques, à toutes les époques de leur activité. Il ne faut pas attribuer non plus

à un continent plutôt qu'à l'autre la rareté ou l'absence des coulées de lave. Des différences frappantes se manifestent déjà dans certains groupes, bien qu'il faille se borner pour eux à des périodes historiques, limitées et voisines de nous. Le fait d'avoir méconnu des coulées de lave dépend de beaucoup de circonstances à la fois. Il tient, entre autres causes, aux couches épaisses de tuf, de rapillis et de ponce qui recouvrent le sol, au confluent de plusieurs courants simultanés ou successifs, qui forment un vaste champ de laves ou de conglomérats, enfin à ce que, dans une plaine d'une grande étendue, les petits cônes d'éruption qui composaient en quelque sorte l'échafaudage volcanique d'où la lave s'échappait par torrents, comme à Laucerote, ont pu disparaître depuis longtemps. Il me semble très-probable que, dans les états primodiaux par lesquels a passé notre planète, lorsque ses diverses parties se refroidissaient inégalement, et que sa surface commençait seulement de se rider, un écoulement abondant de roches trachytiques et doléritiques, de masses de pierres ponces et de perlites riches en obsidienne, à l'état pâteux, s'est produit à travers un vaste réseau de failles, au-dessus duquel n'a été soulevé ni construit aucun échafaudage volcanique. Le problème de ces émissions, sortant directement des failles, est digne de fixer l'attention des géologues.

Dans la chaîne volcanique du Mexique, le phénomène le plus considérable, celui qui a eu le plus de retentissement depuis mon voyage en Amérique, c'est

le soulèvement du volcan de Jorullo et la lave qu'il a vomie. L'existence de ce volcan, dont j'ai le premier fait connaître la topographie, fondée sur des mesures certaines (11), est, par sa position entre les deux volcans de Toluca et de Colima, et par son apparition soudaine sur la grande faille qui s'étend de l'Océan Atlantique à la mer du Sud, un fait d'une grande importance géognostique (12); aussi a-t-il été l'objet de nombreux débats. En suivant la puissante coulée de lave sortie du Jorullo, j'ai réussi à pénétrer dans l'intérieur du cratère, et à y établir mes instruments. Le soulèvement se produisit durant la nuit du 28 au 29 septembre 1759, au milieu d'une vaste plaine de l'ancienne province de Michuacan, séparée du volcan le plus rapproché par plus de 30 milles géographiques, et fut précédé d'un bruit souterrain, qui se fit entendre à partir du 29 juin, c'est-à-dire pendant deux mois entiers. Ce bruit différait des singuliers *bramidos* que l'on entendit à Guanaxuato, au mois de janvier 1784, et que j'ai décrits dans cet ouvrage (13), en ce que, comme cela d'ailleurs est le cas le plus habituel, il était accompagné de tremblements de terre, dont la ville aux riches mines d'argent ne ressentit aucune atteinte. Le soulèvement du nouveau volcan eut lieu à 3 heures du matin, et s'annonça la veille par un phénomène qui d'ordinaire marque la fin et non le commencement des éruptions. A l'endroit où s'élève actuellement le Jorullo, existait autrefois un bois épais de gouyaviers (Psidium pyriferum), fort aimé des indigènes pour la douceur de ses

fruits. Des hommes, qui travaillaient aux champs de cannes à sucre (cañaverales) de la Hacienda de San Pedro Jorullo, propriété de Don Andres Pimentel, étaient allés cueillir des gouyaves; lorsqu'ils revinrent à la métairie, on remarqua avec surprise que leurs larges chapeaux de paille étaient couverts de cendres volcaniques. Des crevasses s'étaient donc ouvertes déjà dans ce que l'on appelle aujourd'hui le Malpais, vraisemblablement au pied de la haute coupole de basalte nommée el Cuiche, et avait déjà rejeté des cendres ou rapillis, avant que rien parût changé dans la plaine. Il résulte d'une lettre écrite trois semaines avant le commencement de l'éruption par le père Joaquin de Ansogorri, et trouvée dans les archives épiscopales de Valladolid, que le père Isidro Molina, envoyé par le collége des Jésuites établi à Patzcuaro, pour porter des consolations spirituelles aux habitants des Playas de Jorullo, auxquels les bruits et les ébranlements souterrains causaient une vive terreur, reconnut le premier l'imminence du danger, et sauva, en donnant l'éveil, toute cette petite population.

Dans les premières heures de la nuit, la cendre noire formait déjà une couche d'un pied de haut. Tout le monde se réfugia sur les hauteurs d'Aguasarco, petit village indien, situé 2160 pieds au-dessus du plateau de Jorullo. De là on vit, telle est du moins la tradition, une vaste étendue du pays en proie à une effroyable éruption de flammes, et au milieu de ces flammes apparut, comme un châ-

teau noir (castello negro), une butte immense et sans forme (bulto grande), suivant les expressions de témoins oculaires. A cette époque, où l'indigo et le coton étaient cultivés sur une très-petite échelle, la contrée n'était guère peuplée; aussi n'y eut-il pas mort d'homme, malgré la violence et la durée du tremblement de terre, tandis que près des mines de cuivre d'Inguaran, dans la petite ville de Patzcuarro, à Santiago de Ario, et plusieurs milles encore plus loin, mais non pas plus loin cependant que San Pedro Churumuco, des maisons furent renversées, ainsi que je l'ai vu dans des Relations manuscrites (14). En fuyant précipitamment au milieu des ténèbres, les habitants de la *Hacienda de Jorullo* avaient oublié un esclave sourd-muet. Un métis eut l'humanité de retourner, et put le sauver avant que l'habitation s'écroulât. Aujourd'hui encore on raconte qu'on trouva cet homme, un cierge bénit dans la main, agenouillé devant l'image de *Nuestra Señora de Guadalupe*.

D'après une tradition fort répandue chez les indigènes, et que personne ne conteste, aux grands quartiers de roc, aux scories, au sable et aux cendres lancés dans les airs, se joignit constamment, durant les premiers jours, une émission d'eau boueuse. Dans le curieux Rapport, en date du 19 octobre 1759, que j'ai mentionné plus haut, et dont l'auteur décrivait, avec une connaissance exacte des lieux, l'événement qui venait de s'accomplir, il est dit en termes exprès, que *espele el dicho volcan arena, ceniza y agua*. D'après une autre Relation, que l'Intendant de la

Province, le colonel Riaño, et un Allemand au service de l'Espagne, le Commissaire des Mines Franz Fischer, ont publié le 10 mars 1789, sur l'état du volcan de Jorullo, tous les témoins oculaires racontaient qu'avant l'apparition de la redoutable montagne (antes de reventar y apparecerse este terrible Cerro), les secousses et les bruits souterrains acquirent plus de fréquence, et que le jour même où se produisit le grand phénomène, on vit la surface du sol se dresser perpendiculairement (se observó que el plan de la tierra se levantaba perpendicularmente). Toute la plaine se tuméfia, et forma des vessies (vexigones), dont la plus grande est devenue le Jorullo (de los que el mayor es hoy el Cerro del Volcan). Ces sortes de bulles, de dimensions très-différentes et en général d'une forme conique assez régulière, crevèrent plus tard (estas ampollas, gruesas vegigas ó conos diferentemente regulares en sus figuras y tamaños reventáron despues), et vomirent une vase bouillonnante (tierras hervidas y calientes), ainsi que des masses de pierres scorifiées (piedras cocidas y fundidas) qui se retrouvent encore à d'immenses distances, recouvertes de masses de pierres noires.

Ces détails historiques, que l'on souhaiterait plus complets, s'accordent parfaitement avec ce que j'ai recueilli moi-même de la bouche des indigènes, quatorze ans après l'ascension de Antonio de Riaño. Aux questions que je fis pour savoir si l'on avait vu la montagne en forme de château fort grandir de mois en mois ou d'année en année, ou bien si elle avait ap-

paru dès les premiers jours dans toute sa hauteur, je ne pus obtenir de réponse. L'assertion de Riaño que les éruptions s'étaient renouvelées pendant seize ou dix-sept ans, par conséquent jusqu'en 1776, a été démentie. Les petites éjections d'eau et de boue, qui, dans les premiers jours, furent observées simultanément avec les scories enflammées, doivent être attribuées, d'après la tradition, au tarissement des deux ruisseaux qui, jaillissant sur le versant occidental de la montagne de Santa Inès, à l'est du Cerro de Cuiche, arrosaient abondamment les champs de cannes à sucre de l'ancienne *Hacienda de San Pedro* de Jorullo, et, continuant leur cours à l'Ouest, coulaient jusque vers la *Hacienda de la Presentacion*. On montre encore aujourd'hui, près de leur source, le point où leurs eaux, froides alors, disparurent dans une crevasse, au moment où fut soulevé le bord oriental du Malpais. Après avoir couru au-dessous des petits fours ou Hornitos, elles réapparaissent à l'état de sources thermales; c'est là du moins l'opinion des habitants. Comme en cet endroit le Malpais est taillé presque à pic, les ruisseaux forment deux chutes d'eau que j'ai vues et que j'ai fait entrer dans mon dessin. Tous deux ont conservé leur ancien nom de Rio de San Pedro et de Rio de Cuitimba. J'ai trouvé sur ce point que la température des eaux fumantes était de 52°,7. En s'échauffant dans leur long parcours, elles n'ont pas contracté de saveur acide, et ne firent subir aucune altération aux papiers réactifs que j'avais l'habitude de porter sur

moi; mais plus loin, près de la Hacienda de la Presentacion, en face de la Sierra de las Cánoas, une source saturée de gaz hydrogène sulfuré forme un bassin de vingt pieds de large.

Pour représenter clairement le relief compliqué du sol qui a été le théâtre de soulèvements si remarquables, il faut bien distinguer, sous le rapport de la hauteur et de la configuration : 1° la situation du système volcanique du Jorullo, relativement à l'élévation moyenne du plateau mexicain; 2° la convexité du Malpais, couvert par des milliers de Hornitos; 3° les failles au-dessus desquelles ont été soulevées six grandes montagnes volcaniques.

Sur la pente occidentale de la chaîne centrale du Mexique, la plaine des *Playas de Jorullo* élevée de 2 400 pieds seulement au-dessus du niveau de l'océan Pacifique, forme une de ces assises horizontales qui, partout dans les Cordillères, interrompent l'inclinaison de la pente et ralentissent plus ou moins l'abaissement de la température dans les couches superposées de l'atmosphère. Si du plateau central du Mexique, c'est-à-dire d'une hauteur moyenne de 7 000 pieds, on descend vers les champs de riz de Valladolid de Michuacan, vers le lac gracieux de Patzcuaro, et dans les prairies de Santiago de Ario, où nous trouvâmes, Bonpland et moi, de belles plantes du genre des Géorgines (Dahlia Cav.) qui depuis a obtenu tant de vogue, on ne s'est pas encore abaissé de plus de 900 ou 1 000 pieds; mais en partant d'Ario, bâtie sur une pente escarpée,

et en passant par Aguasarco, il faut, pour se retrouver à la hauteur de l'ancienne plaine de Jorullo, descendre 3 600 à 4 000 pieds, répartis sur une très-petite distance (15). L'espèce de circonférence qui borde la partie de la plaine rendue convexe par le soulèvement a environ 12 000 pieds de diamètre ; ce qui donne, pour la surface, plus du tiers d'un mille géographique carré. Le volcan de Jorullo et les cinq autres montagnes qui ont surgi en même temps et sur la même faille sont situés de telle façon qu'ils n'ont à l'Est qu'une petite partie du Malpais. Aussi le nombre des Hornitos est-il beaucoup plus considérable à l'Ouest ; et lorsque le matin de bonne heure je sortais de la case indienne où j'avais passé la nuit, ou que je montais sur le *Cerro del Mirador*, je voyais le volcan noir se détacher d'une manière très-pittoresque au-dessus des innombrables colonnes de fumée blanche qui s'élevaient des Hornitos. Les habitations des Playas, aussi bien que le cône basaltique du Mirador, sont situées au niveau de l'ancien sol non volcanique, ou, pour parler avec plus de circonspection, de la partie du sol non soulevée. La belle végétation de cette plaine, couverte de sauges innombrables, qui croissent à l'ombre d'une nouvelle espèce de palmier en éventail (Corypha pumos) et d'une nouvelle espèce d'aulne (Alnus jorullensis), contraste avec l'aspect stérile et désolé du Malpais. La comparaison des baromètres, à l'endroit où commence le gonflement des Playas et sur un autre point pris au pied du volcan, donne une différence de

444 pieds de hauteur verticale (16). La maison que nous habitions était située à 500 toises seulement du bord du Malpais. Il y avait là un petit talus vertical, haut de 12 pieds à peine, d'où tombent en cascade les eaux devenues brûlantes du Rio de San Pedro. Autant que j'ai pu reconnaître, de ce talus, la structure intérieure du sol, j'ai aperçu des couches horizontales de glaise noire, mêlées avec du sable ou des rapillis. Sur d'autres points que je n'ai pas vus, situés à l'endroit où le sol gonflé s'élève perpendiculairement au-dessus de celui qui ne l'est pas, et présente de grandes difficultés à l'ascension, Burkart a observé un basalte d'un gris clair, peu compacte et décomposé, qui contenait beaucoup de grains d'olivine (17). Cet habile observateur a d'ailleurs adopté comme moi, sur les lieux, l'hypothèse d'un gonflement du sol opéré par les vapeurs élastiques (18), contrairement à l'opinion de célèbres géognostes, qui considèrent uniquement la convexité dont j'ai donné la mesure comme l'effet d'une coulée de lave, plus épaisse au pied du volcan (19).

Des milliers de petits cônes d'éruption, semés assez régulièrement sur la surface du Malpais, et qui ressemblent à des fours de boulangers, les uns plus arrondis, les autres plus allongés, ont, en moyenne, une hauteur de 4 à 9 pieds. Presque tous sont situés à l'ouest du grand volcan; ce qui n'est pas surprenant, puisque la partie orientale, située du côté du Cerro de Quiche, est à peine la vingt-cinquième partie de l'espace soulevé dans les Playas. Chacun de

ces innombrables Hornitos est formé de sphères basaltiques décomposées, d'où se détachent des écailles concentriques. J'ai pu souvent compter 24 et même 28 de ces écailles. Les globes sont un peu aplatis, comme des sphéroïdes. Le plus grand nombre ont de 15 à 18 pouces de diamètre ; il y en a pourtant dont le diamètre n'a qu'un pied, d'autres dans lesquels il en a trois. La masse noire basaltique est traversée par des vapeurs chaudes et réduite en terre ; cependant le noyau est plus dense, et les écailles, lorsqu'on les détache, laissent voir des taches jaunes de fer oxydé. La glaise molle qui retient les sphères basaltiques est divisée d'une manière assez singulière en lames recourbées, qui s'insinuent à travers tous les interstices des sphères. Je me suis demandé, à première vue, si l'ensemble ne présentait pas, au lieu de sphères basaltiques, contenant quelques grains d'olivine, des masses en voie de formation, mais troublées au milieu de ce travail. Cette hypothèse est contredite par l'analogie de collines souvent très-petites et réellement formées de sphères basaltiques, mêlées de couches d'argile et de marne, que l'on rencontre souvent en Bohême dans les Mittelgebirge, où quelquefois elles sont isolées, et quelquefois couronnent, aux deux extrémités, de longs dos de montagnes basaltiques. Quelques Hornitos sont tellement décomposés, et renferment des cavernes si considérables que souvent les mulets enfoncent profondément, lorsqu'on les force à poser leurs pieds de devant sur les moins élevés. Des éminences construites par

des termites ont résisté devant moi à la même expérience.

Je n'ai pas trouvé, dans la masse basaltique des Hornitos, de scories ou de fragments de roches plus anciennes et brisées, comme dans les laves du Jorullo. Ce qui justifie surtout la dénomination de *Hornos* ou *Hornitos*, c'est cette circonstance que dans tous, les colonnes de fumée ne s'échappent point du sommet, mais d'ouvertures latérales ; cela était vrai du moins à l'époque où je visitai les Playas du Jorullo, et où je consignai mes observations, dans mon Journal, à la date du 18 septembre 1803. En 1780, on pouvait encore allumer des cigares, en les attachant au bout d'un bâton, et en les enfonçant de 2 ou 3 pouces; en quelques endroits mêmes, l'air était si échauffé par le voisinage des Hornitos, que l'on était forcé de faire des détours pour se rendre au but qu'on voulait atteindre. Malgré le refroidissement que, d'après le témoignage des Indiens, la contrée a subi depuis vingt ans, j'ai trouvé le plus souvent dans les crevasses des Hornitos 93 et 95 degrés centigrades. A 20 pieds de quelques-unes de ces éminences, dans un endroit où aucune vapeur ne pouvait plus m'atteindre, l'air environnant était encore à 42°,5 et 46°,8, tandis que la véritable température des Playas était à peine de 25°. Les vapeurs, faiblement imprégnées d'acide sulfurique, dépouillaient de leurs couleurs des bandes de papier réactif et, quelques heures après le lever du Soleil, s'élevaient visiblement jusqu'à 60 pieds de hauteur. C'est à la fraîcheur du matin que

l'aspect des colonnes de vapeur est le plus remarquable. Vers midi, déjà même à onze heures, elles ont perdu beaucoup de leur élévation, et ne sont visibles qu'à une très-faible distance. A l'intérieur de plusieurs Hornitos, nous entendîmes un bruissement qui semblait venir d'une chute d'eau. Ces petits fours basaltiques sont, ainsi que je l'ai remarqué déjà, des constructions faciles à renverser. Lorsque Burkart visita le Malpais, vingt-quatre ans après moi, aucun d'eux n'exhalait plus de fumée; le plus grand nombre n'avaient pas une autre température que celle de l'air environnant; beaucoup même avaient perdu leur forme, par l'effet des pluies et des influences météoriques. Près du volcan principal, Burkart trouva des petits cônes formés de conglomérats d'un rouge brun, qui eux-mêmes étaient composés de fragments de lave arrondis ou anguleux et très-peu cohérents. Au milieu de la plaine soulevée et couverte de Hornitos, on voit encore des restes de l'ancienne éminence à laquelle étaient adossés les bâtiments de la métairie de San Pedro. Cette colline, que j'ai indiquée sur ma carte, forme une croupe dirigée de l'Est à l'Ouest. On est étonné qu'elle subsiste encore au pied du volcan; une partie seulement est couverte d'un sable compacte, formé de rapillis calcinés. Un rocher aigu de basalte, qui se dresse en avant et porte de vieux troncs de Ficus indica et de Psidium, doit être sans nul doute considéré comme préexistant à la catastrophe, ainsi que celui du Cerro del Mirador, et ceux qui se détachent des hautes masses de mon-

tagnes dont la ligne arrondie borne la plaine du côté de l'Est.

Il me reste à décrire la faille puissante dont l'axe général suit la direction du Sud-Sud-Ouest au Nord-Nord-Est, et sur laquelle s'élève la rangée des six volcans. La direction partielle des trois premiers, moins élevés et plus rapprochés du Sud, est du Sud-Ouest au Nord-Est; les trois derniers vont presque du Sud au Nord. Ainsi la faille, dans son développement total de 1 700 toises, a subi une inflexion qui a légèrement modifié son axe. Cette chaîne, où les volcans se suivent sans se toucher, coupe presque à angle droit la ligne sur laquelle, ainsi que j'en ai déjà fait la remarque, les volcans mexicains se succèdent d'une mer à l'autre. De semblables divergences semblent moins surprenantes, si l'on songe qu'il ne faut pas confondre un grand phénomène géognostique, tel que la direction des masses principales au travers d'un continent, avec les circonstances locales de l'orientation à l'intérieur d'un groupe isolé. La longue croupe du volcan de Pichincha ne suit pas non plus la même direction que la chaîne volcanique de Quito; et j'ai déjà signalé ce fait à l'attention, que, dans les chaînes non volcaniques, dans l'Himalaya par exemple, les points culminants sont souvent éloignés de la ligne générale du soulèvement. Ils sont, dans ce cas, placés sur des croupes neigeuses détachées des autres, et qui font avec cette ligne un angle presque droit.

Des six collines volcaniques, soulevées au-dessus de

là faille dont je viens de tracer l'allure, les trois premières, c'est-à-dire les plus méridionales, entre lesquelles passe le chemin qui conduit aux mines de cuivre d'Inguaran, sont, dans leur état actuel, les moins intéressantes. Elles se sont refermées, et sont entièrement couvertes de sable volcanique d'un blanc gris, qui n'est pas de la ponce, car je n'ai vu dans cette contrée ni ponce ni obsidienne. La couche de cendre blanche paraît être la dernière qui ait recouvert le Jorullo, comme Léopold de Buch et Monticelli l'ont affirmé du Vésuve. La quatrième montagne, située plus au Nord est le grand, le véritable Jorullo, dont nous eûmes quelque peine à gravir le sommet, avec Bonpland et Carlos Montufar, le 19 septembre 1803, bien qu'il n'ait pas plus de 667 toises au-dessus du niveau de la mer, 180 toises au-dessus du Malpais, en comptant à partir du pied même de la montagne, 263 toises au-dessus de l'ancien sol des Playas. Nous supposions que le moyen le plus sûr pour parvenir dans le cratère, rempli encore à cette époque de vapeurs chaudes sulfureuses, était de gravir le dos abrupt de la puissante coulée de lave, sortie du sommet même de la montagne. Nous marchions sur une lave ridée, scoriliée, rendant un son clair, et présentant, dans les parties gonflées, l'aspect du coke ou plutôt celui de choux-fleurs. Quelques parties ont un éclat métallique; d'autres ressemblent à du basalte, et sont pleines de petits grains d'olivine. Lorsque nous fûmes arrivés sur le plateau supérieur de la coulée, à 667 pieds de hauteur verticale, nous

nous dirigeâmes vers le cône de cendres blanches, dont la pente abrupte, en occasionnant des chutes fréquentes et rapides, faisait appréhender des blessures douloureuses contre les aspérités des laves. Nous avions disposé nos instruments sur la partie Sud-Ouest du bord supérieur du cratère, qui forme une enceinte circulaire large de quelques pieds ; de là nous portâmes le baromètre dans le cratère ovale du cône tronqué. Une crevasse laissait échapper de l'air à 93°, 7. Nous étions alors directement au-dessous du bord du cratère, 140 pieds plus bas, et vraisemblablement il ne nous restait guère plus de chemin à faire pour arriver au point le plus profond de l'abîme, qu'une vapeur sulfureuse trop épaisse ne nous permit pas d'atteindre. Notre trouvaille géologique la plus intéressante fut des quartiers de roches blancs, nettement terminés et riches en feldspath, de trois à quatre pouces de diamètre, que nous découvrîmes enchâssés dans la lave noire basaltique. Je tins d'abord cette roche pour de la syénite (20), mais à la suite d'un examen attentif fait par Gustave Rose d'un fragment que j'avais rapporté, elle paraît appartenir plutôt à la formation granitique que le Conseiller des Mines Burkart a vue aussi se faire jour sous la syénite du Rio de las Balsas. « La substance enfermée dans la lave, dit Gustave Rose, est un mélange de quartz et de feldspath. Les taches, d'un vert noir, paraissent être non pas de l'hornblende, mais du mica fondu avec quelques parties de feldspath. Les fragments blancs

enchâssés dans cette pâte ont été crevassés par la chaleur volcanique et, dans la déchirure, des fibres blanches, dentelées et fondues rejoignent les deux bords. »

Plus au Nord que le grand volcan de Jorullo et la montagne de lave scorifiée qu'il a vomie dans la direction de l'ancien basalte du Cerro del Mortero, on rencontre les deux dernières collines produites par le même soulèvement. Ces collines étaient d'abord très-actives, car le peuple désigne encore la plus éloignée sous le nom de *el Volcancito*. Une large crevasse, ouverte du côté de l'Ouest, porte les traces d'un cratère détruit. Le grand volcan paraît, comme l'Epoméo d'Ischia, n'avoir déversé qu'une seule coulée de lave considérable ; du moins il n'est pas prouvé historiquement que cette propriété de vomir des laves se soit conservée au delà de la première éruption, car la lettre du Père Joaquin de Ansogorri, écrite vingt jours à peine après l'événement, et découverte par un hasard dont malheureusement peu de gens ont pu profiter, parle presque uniquement des mesures à prendre afin d'assurer aux personnnes qui se sont dispersées avant la catastrophe les soins spirituels qu'elles réclament. Pour les trente années qui suivent, nous ne possédons absolument aucun détail. Des feux qu'une tradition générale représente comme couvrant une si grande étendue de pays, on peut conclure que les six collines et une partie même du Malpais, d'où sortirent les Hornitos étaient enflammées simultanément. La haute

température de l'air ambiant, que j'ai pu constater encore, permet de conjecturer ce qu'elle devait être quarante-trois ans plus tôt. On peut se faire d'après cela une idée de l'état primordial de notre planète, durant lequel la température de l'atmosphère, et par suite la distribution de la vie organique, purent être modifiées lentement sous toutes les zones, par l'influence de la chaleur interne, communiquant avec l'air extérieur à travers des failles profondes.

Depuis que j'ai décrit les Hornitos qui entourent le volcan de Jorullo, on a comparé avec ces petites éminences, ressemblant à des fours, plusieurs échafaudages analogues qui existent dans différentes contrées. Ceux du Mexique, à en juger par leur composition intérieure, me paraissent un phénomène isolé jusqu'à ce jour, et qui n'offre avec les autres que des rapports de contraste. Si l'on appelle cônes d'éruption toutes les éminences d'où s'échappent des vapeurs, ce nom appartient assurément aux Hornitos, qui sont de véritables fumarolles. Mais la dénomination de cônes d'éruption aurait l'inconvénient de faire supposer la présence d'indices prouvant que les Hornitos ont lancé des scories ou même déversé des laves, comme font beaucoup de cônes d'éruption. Il en est tout autrement, en Asie Mineure, pour rappeler un phénomène plus considérable, des trois gouffres situés sur l'ancien limite de la Mysie et de la Phrygie, dans l'ancienne pays de feu (κατακεκαυμένη), dont, suivant Strabon, les tremblements de terre rendaient l'habitation fort périlleuse. Ces gouffres, que

le géographe appelle φύσαι (soufflets), ont été retrouvés par le savant voyageur William Hamilton (21). De même, les cônes d'éruption de l'île Lancerote, près de Tinguaton, ceux de la basse Italie, ou ceux qui s'élèvent à la hauteur de 20 pieds à peine sur la pente du grand volcan du Kamtschatka, l'Awatscha (22), et qu'a visités, au mois de juillet 1824, mon ami et mon compagnon de voyage en Sibérie, Ernest Hoffmann, sont formés de scories et de cendres, qui ont bouché le petit cratère d'où elles sont sorties. Or il n'y a dans les Hornitos rien qui ressemble à un cratère. Leur caractère distinctif, c'est qu'ils consistent uniquement en sphères basaltiques, d'où se détachent des écailles, sans mélange de scories anguleuses et désagrégées. Lors de la puissante éruption de 1794, de petits cônes d'éruption (bocche nuove) se formèrent au pied du Vésuve, comme cela s'était déjà vu à des époques antérieures. Ces cônes d'éruption parasites, ainsi qu'on les a appelés, alignés au nombre de huit sur une faille longitudinale, lançaient des flammes, ce qui suffit pour les mettre complétement à part des Hornitos du Jorullo. « Vos Hornitos, m'écrivait Léopold de Buch, ne sont pas des cônes formés par l'amoncellement de matières éruptives; ils ont été soulevés immédiatement du centre de la Terre. » La naissance du volcan même de Jorullo a été comparée par ce grand géologue avec celle du Monte Nuovo, dans les champs Phlégréens. De toutes les conjectures auxquelles ont pu donner lieu les six montagnes volca-

niques, celle du soulèvement sur une faille longitudinale a été adoptée comme la plus vraisemblable, par le colonel Riaño et le Commissaire des Mines Fischer en 1789, par moi en 1803, dès que j'ai pu examiner les lieux, par Burkart en 1827. Les mêmes questions se reproduisent à l'occasion des deux montagnes qui ont surgi en 1538 et en 1759. Pour le Monte Nuovo de l'Italie méridionale, les témoignages de Falconi, de Pietro Giacomo di Toledo, de Francesco del Nero et de Porzio ont l'avantage d'être plus circonstanciés, d'être plus voisins de l'événement et d'émaner d'observateurs plus instruits. Le célèbre Porzio, le plus compétent de tous, s'exprime ainsi : « Magnus terræ tractus, qui inter radices montis quem barbarum incolæ appellant, et mare juxta Avernum jacet, sese erigere videbatur et montis subito nascentis figuram imitari. Iste terræ cumulus aperto veluti ore magnos ignes evomuit, pumicesque et lapides cineresque (23). »

Du volcan de Jorullo, dont j'ai donné une description complète, je passe aux parties orientales du Mexique central, anciennement appelé Anahuac. D'après les dernières et intéressantes recherches de Pieschel, qui ne remontent pas au delà du mois de mars 1854 (24), et dont les résultats sont conformes aux conclusions de H. de Saussure, le pic d'Orizaba a rejeté des coulées de laves que l'on ne peut méconnaître, et dont la masse est surtout basaltique. La roche du pic d'Orizaba, comme celle du grand volcan de Toluca (25), dont j'ai fait l'ascension,

est composée de hornblende, d'oligoclase et d'un peu d'obsidienne, tandis que la masse constitutive du Popocatepetl, la même que celle du Chimborazo, est formée de très-petits cristaux d'oligoclase et d'augite. Au pied du versant oriental du Popocatepetl, à l'ouest de la ville *la Puebla de los Angeles*, dans le Llano de Tetimpa, où j'ai mesuré une base trigonométrique pour déterminer les hauteurs des deux grands Nevados qui bordent la vallée de Mexico, le Popocatepetl et l'Iztaccihuatl, j'ai trouvé, à 7 000 pieds au-dessus de la mer, un vaste champ de laves dont il est difficile d'expliquer l'origine. Renflé de 60 à 80 pieds au-dessus de la plaine limitrophe, il est dirigé de l'Est à l'Ouest, et coupe par conséquent les volcans à angle droit. On l'appelle le *Malpais* de l'Atlachayacatl; l'Atlachayacatl est une coupole de trachyte peu élevée, sur le versant de laquelle jaillit le Rio Atlaco. Depuis le village indien *San Nicolas de los Ranchos*, jusqu'à *San Buenaventura*, j'ai calculé que la longueur du Malpais est de près de 18 000 pieds, sa largeur de 6 000. Des blocs de lave noire, quelquefois dressés debout et semés çà et là de quelques maigres lichens, offrent un aspect horriblement sauvage, et contrastent avec la ponce, d'un blanc jaunâtre, qui recouvre tout dans un rayon considérable. Cette ponce est composée de fragments à fibres épaisses, de trois à quatre pouces de diamètre, au milieu desquels se trouvent parfois des cristaux de hornblende. Le sable grossier qu'elle produit ne ressemble pas au sable à grains très-fins qui,

lorsqu'il est mis en mouvement sur les pentes abruptes de la montagne, rend si dangereuse l'ascension du Popocatepetl, près du rocher *el Frayle* et de la limite des neiges éternelles, et menace de tout ensevelir sous sa masse roulante. Je ne puis décider si ce champ de laves scoriacées, que les Espagnols désignent sous le nom de *Malpais*, et dont les analogues sont appelés en Sicile *Sciarra viva*, en Islande *Odoada-Hraun*, est dû à la superposition des anciennes éruptions latérales du Popocatepetl, ou s'il provient du cône un peu tronqué de Tetlijolo, nommé par les Espagnols *Cerro del Corazon de Piedra*. Un fait intéressant pour la géognosie, c'est que plus à l'Est, sur le chemin de la petite forteresse de Perote, l'ancien Pinahuizapan des Aztèques, s'élève, entre *Ojo de Agua*, *Venta de Soto* et *el Portachuelo*, la formation volcanique de perlite blanc, à fibres grossières et friables (26), qui touche à un calcaire vraisemblablement tertiaire (Marmol de la Puebla). Ce perlite est très-semblable à celui dont est formée la colline conique de Zinapecuaro, entre Mexico et Valladolid, et renferme dans sa pâte, outre des petites lames de mica et des quartiers d'obsidienne, des bandes vitreuses, d'un gris bleuâtre, quelquefois rouge, qui ont l'apparence du jaspe. Ce vaste dépôt de perlite est recouvert ici par un sable fin, que lui-même a formé en se décomposant, et qu'à première vue on prendrait pour du sable de granite. Malgré son analogie d'origine avec le véritable sable ponceux, d'un blanc tirant sur le gris, le

sable de perlite s'en distingue cependant sans peine. Le sable de ponce appartient plutôt à la contrée plus voisine de Perote, au plateau, élevé de 7 000 pieds, qui s'étend entre les deux chaînes volcaniques méridiennes du Popocatepetl et de l'Orizaba.

Lorsque, sur le chemin de Mexico à Vera-Cruz, on commence à redescendre des hauteurs de Vigas, formées d'un porphyre trachytique sans quartz, vers Canoas et Jalapa, on traverse deux autres champs de lave scorifiée: le premier, situé entre la station *Parage de Carros* et Canoas ou Tochtlacuaya, est appelé *Loma de Tablas*, à cause de nombreux quartiers de lave basaltique et riche en olivine, qui sont dressés comme des tables; le second, beaucoup plus vaste, qui s'étend entre Canoas et la station *Casas de la Hoya*, est appelé simplement *el Malpais*. Une petite croupe de ce même porphyre trachytique, plein de feldspath vitreux, qui limite à l'Est, près de la Cruz Blanca et du Rio Frio, sur la pente occidentale des hauteurs de Las Vigas, les champs de perlite sablonneux, désignés sous le nom d'*Arenal*, sépare la Loma de Tablas et le Malpais. Ceux des habitants de la campagne qui connaissent bien la contrée affirment que cette bande de scories se prolonge vers le Sud-Sud-Ouest, c'est-à-dire dans la direction du *Cofre de Perote*. Comme j'ai gravi moi-même le Cofre de Perote et que j'y ai pris un grand nombre de mesures (27), je suis peu disposé à conclure du prolongement, très-vraisemblable d'ailleurs, de la coulée de lave, car c'est ainsi que j'ai représenté ce phénomène dans mes profils, nos 9 et 11,

et dans mon *Nivellement barométrique*, qu'elle est sortie de cette montagne si singulièrement configurée. Le Cofre de Perote, qui dépasse de 1 300 pieds le pic de Ténériffe, mais qui n'en est pas moins insignifiant, si on le compare aux colosses du Popocatepetl et de l'Orizaba, forme, comme le Pichincha, une longue croupe de rochers, à l'extrémité méridionale de laquelle s'élève le petit rocher cubique appelé la Peña, dont l'aspect a donné lieu à l'antique dénomination aztèque Nauhcampatepetl. Lorsque j'ai fait l'ascension du Cofre de Perote, je n'y ai trouvé aucune trace d'un cratère écroulé ou de bouches éruptives latérales; je n'ai pas vu davantage de masses scorifiées ni d'obsidienne, de perlite ou de ponce qui appartinssent à la montagne. La roche, d'un gris noirâtre, est très-uniformément composée d'une grande quantité de hornblende et d'une espèce de feldspath, qui n'est pas le feldspath vitreux connu sous le nom de Sanidine, mais de l'oligoclase. Ces caractères désignent toute la roche qui n'est point poreuse comme un trachyte dioritique. Je décris les impressions que j'ai éprouvées, et je m'arrête à dessein sur le Malpais, afin de combattre l'opinion trop exclusive, d'après laquelle toutes les manifestations de la force volcanique sortiraient du centre de la Terre. Il se peut que ce noir et vaste champ de décombres n'ait pas été rejeté par une ouverture latérale du Cofre de Perote, et que cependant il ait été formé à l'occasion du soulèvement de cette montagne, haute de 12 714 pieds. Il se peut que, lors d'un tel soulève-

ment, le plissement du sol ait produit, sur un vaste espace, des failles longitudinales et des réseaux de failles d'où sont sorties directement des matières en fusion, tantôt sous la forme de masses compactes, tantôt sous celle de laves scorifiées, sans qu'il se soit formé des échafaudages de montagnes, c'est-à-dire des cônes ouverts ou des cratères de soulèvement. Ne cherche-t-on pas en vain, dans les chaînes de montagnes de basalte et de porphyre schisteux, des points centraux ou montagnes à cratères, ou bien des ouvertures plus basses, circulaires et entourées d'un rempart, auxquelles on puisse attribuer l'apparition de ce double phénomène. Il y a un grand profit pour la science à distinguer soigneusement les différences d'origine entre les faits naturels, à savoir : la formation des montagnes coniques, pourvues, au sommet, d'un cratère qui ne s'est point refermé et d'ouvertures latérales; celle des cratères de soulèvement et d'explosion entourés de remparts; le soulèvement des montagnes fermées en forme de cloche ou des cônes ouverts; enfin l'écoulement direct des substances à travers un système de failles accompagnantes. La diversité des aperçus auxquels donne carrière un horizon plus large, ouvert à l'observation, est un stimulant énergique, qui provoque une comparaison sévère entre la réalité des faits et l'hypothèse d'où l'on est parti : que tous ces phénomènes ont une seule et même origine. Sur le sol même de l'Europe, dans l'île d'Eubée, riche en sources thermales, un puissant courant de lave s'est écoulé d'une

crevasse unique, au milieu de la grande plaine de Lelantus, à distance de toute montagne ; cela se passait durant les temps historiques (28).

Dans le groupe volcanique de l'Amérique centrale, qui suit immédiatement, vers le Sud, le groupe Mexicain, et contient dix-huit cloches ou cônes, que l'on peut considérer comme enflammés, il y en a quatre, le Nindiri, el Nuevo, Conseguina et San Miguel de Bosotlan, qui ont été reconnus comme vomissant des laves (29). Les montagnes du troisième groupe volcanique, celui de Popayan et de Quito, ont depuis plus d'un siècle la réputation de ne point fournir de coulées de lave, mais seulement des masses de scories ardentes et désagrégées, qui toutes s'échappent du cratère placé au sommet de la montagne, et roulent souvent en longues bandes. C'était déjà l'opinion de La Condamine, lorsqu'il quitta, au printemps de 1743, le plateau de Quito et de Cuenca (30). Quatorze ans plus tard, le 4 juin 1755, il eut l'occasion, en revenant d'une ascension du Vésuve, où il avait accompagné la sœur du grand Frédéric, la Margrave de Baireuth, de s'exprimer d'une manière très-vive, à l'Académie, sur l'absence de *laves coulées par torrents de matières liquéfiées*, dans les volcans de Quito. Le *Journal d'un Voyage en Italie*, dont il donna lecture un peu plus tard, le 20 avril 1757, ne fut inséré qu'en 1762 dans les Mémoires de l'Académie des sciences. Ce Journal a quelque importance pour l'histoire de la connaissance des volcans éteints en France, parce que, sans rien savoir

encore des assertions antérieures de Guettard, La Condamine, avec sa pénétration ordinaire, affirme formellement l'existence de cratères-lacs et de volcans éteints dans la France méridionale, aussi bien que dans les parties centrales et septentrionales de l'Italie (31).

Aprés avoir reconnu de si bonne heure et d'une manière incontestable la présence d'étroites coulées de lave en Auvergne, on s'est obstiné à nier qu'il en existât dans les Cordillères. Ce singulier contraste m'a sérieusement occupé, pendant toute la durée de notre expédition. Mes Journaux sont pleins de considérations sur ce problème, dont j'ai cherché la solution dans la hauteur absolue des sommets et dans la puissance de la circonvallation, c'est-à-dire dans l'enfoncement de cônes trachytiques au milieu de vastes plateaux de 8 à 9 000 pieds de hauteur. Mais nous savons aujourd'hui qu'un des volcans de Quito, qui lance des scories, le Sangay ou volcan de Macas, haut de plus de 16 000 pieds, déploie constamment une activité beaucoup plus grande que les volcans si peu élevés d'Izalco et de Stromboli. Nous savons que, parmi les volcans de la Cordillère orientale, les montagnes, en forme de dôme et de cloche, d'Antisana et de Sangay, ont des pentes libres du côté de la plaine du Napo et du Pastaza, et que parmi les volcans de la Cordillère occidentale, le Pichincha, l'Iliniza et le Chimborazo, offrent la même particularité du côté des affluents de l'océan Pacifique. Dans plusieurs de ces montagnes, la partie supérieure s'élève encore à 8 ou

9 000 pieds au-dessus du plateau, sans être entourée de remparts. Enfin l'on peut ajouter que toutes les hauteurs, calculées à partir de la surface de la mer, surface que l'on regarde un peu arbitrairement comme représentant la hauteur moyenne de l'écorce terrestre, sont insignifiantes en comparaison de la profondeur à laquelle il faut supposer le siége de l'activité volcanique et la température nécessaire pour la fusion des masses rocheuses.

Les seuls phénomènes ressemblant, avec de moindres dimensions, à des coulées de lave, que j'ai trouvés dans les Cordillères de Quito, sont ceux que présente la masse colossale de l'Antisana, dont des mesures trigonométriques m'ont révélé la hauteur, égale à 17 952 pieds ou 5 833 mètres. Comme pour l'objet qui nous occupe, la forme est ce qui fournit le criterium le plus important, j'écarterai tout d'abord la dénomination de lave, qui a l'inconvénient d'être trop systématique et de supposer une origine trop spéciale, et j'emploierai de préférence l'expression purement objective de *traînées de masses volcaniques*. La puissante montagne de l'Antisana offre, à une hauteur de 12 625 pieds, une vaste plaine presque ovale, ayant, dans sa plus grande dimension, plus de 12 500 pieds, d'où s'élève, comme une île, la partie du volcan couverte de neiges éternelles. Le faîte est arrondi en forme de dôme; ce dôme est relié par une croupe de montagne courte et dentelée à un cône tronqué qui regarde le Nord. La plaine, en partie stérile et sablonneuse, en partie couverte

d'herbes, est peuplée par une race de taureaux très-courageux qui, en raison de la faible pression de l'atmosphère, rendent souvent du sang par la bouche et les naseaux, lorsqu'ils se trouvent forcés à un grand effort musculaire. Au milieu est située une petite métairie (Hacienda), composée d'une maison isolée, dans laquelle nous passâmes quatre jours, par une température de 3°,7 à 9° centigrades. La plaine qui n'est point, comme les cratères de soulèvement, entourée d'une enceinte, porte des traces prouvant qu'elle a servi jadis de lit à un lac. La *Laguna Mica*, placée à l'ouest des *Altos de la Moya*, reste comme un témoignage de l'eau qui a couvert ces lieux. A la limite des neiges éternelles, jaillit le Rio Tinajillas, qui devient plus tard, sous le nom de Rio de Quixos, un affluent du Maspa, du Napo et finalement de la rivière des Amazones. Deux remparts de pierre, formés par des éminences étroites et semblables à des murs, partent, comme des rubans, du pied de la montagne, à la limite inférieure des neiges éternelles, du côté de la pente Sud-Ouest et de la pente septentrionale, et descendant avec une inclinaison très-douce, paraissent s'étendre dans la plaine, à plus de 2000 toises de distance, dans la direction du Nord-Ouest au Sud-Est. Ces remparts que j'ai représentés comme des coulées de lave, dans mon plan de l'Antisana, et que les indigènes appellent volcan de la Hacienda ou Yana-Volcan, ce qui, dans la langue Qquecchua, signifie volcan noir ou brun, ont, avec une très-faible lar-

geur, une hauteur de 180 à 200 pieds au-dessus du sol des Llanos de la Hacienda, de Santa Lucia et del Cuvillan. Leurs pentes sont très-escarpées et taillées à pic, même aux extrémités. Dans leur état actuel, ils consistent en débris de rochers écailleux et le plus souvent à arêtes aiguës, provenant d'une roche basaltique noire, sans olivine et sans hornblende, mais qui contient en faible quantité de petits cristaux blancs de feldspath. La masse principale a souvent l'éclat du pechstein, et renferme des parties d'obsidienne, roche particulièrement abondante et facile à reconnaître dans la *Cueva de Antisana*, que nous avons trouvée à la hauteur de 14958 pieds. Ce que l'on appelle Cueva de Antisana n'est pas, à proprement dire, une caverne, mais une espèce d'abri, formé par la chute des rochers accumulés, où les gardiens des troupeaux cherchent un refuge, et qui nous protégea nous-mêmes contre une grêle effroyable. La Cueva est située un peu au nord du Volcan de la Hacienda. Dans les deux remparts de rochers qui ont l'aspect d'une coulée de lave refroidie, les tables et les blocs de pierre sont tantôt scorifiés sur les bords et réduits presque à l'état d'éponge, tantôt décomposés par l'air et mêlés de débris terreux.

Un autre dépôt de pierres roulées, qui se développe aussi comme une bande, présente des phénomènes analogues, bien que plus complexes. Sur la pente orientale de l'Antisana, il existe, à 1 200 pieds de profondeur verticale au-dessous de la plaine du même

nom, dans la direction de Pinantura et de Pintac, deux petits lacs arrondis, dont l'un placé plus au nord, a pour nom Ansango, l'autre Lecheyacu. Dans le lac d'Ansango, est une île de rocher, et ce qui est décisif, le lac est entouré de fragments roulés de pierre ponce. Les deux lacs marquent le commencement de deux vallées qui se confondent, et dont le prolongement élargi est désigné sous le nom de *Volcan de Ansango*, parce que du bord des deux lacs partent des traînées étroites de débris volcaniques, tout à fait semblables aux deux remparts de pierre de la haute plaine, et qui ne remplissent pas les vallées, mais se dressent au milieu d'elles comme des digues, et atteignent la hauteur de 200 à 250 pieds. Un coup d'œil jeté sur le plan que j'ai publié dans l'*Atlas géographique et physique* de mon voyage au nouveau Continent, éclaircira ces rapports. Ici encore les blocs sont en partie terminés par des arêtes aiguës, en partie scorifiés sur les bords, et calcinés comme du coke La masse principale est noire, semblable à du basalte, et semée de rares parties de feldspath vitreux; il y a aussi des fragments détachés, d'un brun noir, qui ont l'éclat mat du pechstein. Quelque ressemblance qu'ait la masse avec le basalte, il y manque complétement l'olivine, qui se trouve en si grande abondance sur le Rio Pisque, et près de Guallabamba, où j'ai vu des colonnes basaltiques, hautes de 68 pieds et épaisses de 3, contenant à la fois des parties d'olivine et de hornblende. Dans le rempart de pierre d'Ansango, un grand nombre de tables, décomposées et fendues par l'action de l'air,

dénotent le porphyre schisteux. Tous les blocs ont une croûte, d'un gris jaune, également produite par la décomposition. Comme on peut suivre la traînée de masses volcaniques, appelée par les indigènes familiers avec la langue espagnole, *los derrumbamientos*, *la reventazon*, depuis le Rio del Molino, près de la métairie de Pintac, jusqu'aux petits cratères-lacs entourés de pierre ponce, on a été tout naturellement amené à penser que ces lacs sont les ouvertures par lesquelles les quartiers de roc ont été lancés à la surface du sol. Peu d'années avant mon arrivée dans le pays, cette traînée volcanique avait glissé pendant plusieurs semaines sur un plan incliné, sans que ce mouvement eût été annoncé par aucun ébranlement sensible, et plusieurs maisons avaient été renversées près de Pintac, par le choc et la pression des quartiers de roc. Le champ de décombres d'Ansango est encore sans traces de végétation. Il s'en trouve quelques-unes, bien que très-rares, sur les deux traînées volcaniques du plateau d'Antisana, qui sont à la vérité plus anciennes et dans un état de décomposition plus avancée.

De quel nom désigner le mode de manifestation volcanique dont je viens de décrire les effets (32)? Avons nous à faire ici avec des coulées de lave, ou seulement avec des masses ardentes, à demi scorifiées, sans cohésion entre elles, mais rejetées en bandes serrées, comme on l'a vu sur le Cotopaxi, à des époques rapprochées de nous. Les remparts de pierre du Yana-Volcan d'Ansango, ne sont-ils pas des

masses fragmentaires solides, accumulées autrefois sans cohésion, partant sans fixité, dans l'intérieur d'un cône volcanique, qui ébranlées par des tremblements de terre, produisant elle-mêmes de petites secousses locales, ont été poussées au dehors par la force des chocs ou des chutes, sans avoir eu besoin pour cela d'un nouvel accroissement de chaleur. Mais peut-être aussi qu'aucune de ces trois manifestations de l'activité volcanique, si différentes entre elles, ne trouve place ici. Ces amas de décombres alignés ont-ils donc été soulevés sur des failles, aux lieux mêmes où ils sont accumulés aujourd'hui, c'est-à-dire au pied et dans le voisinage d'un volcan. Les deux remparts qui suivent la pente si douce du volcan de la Hacienda et du Yana-Volcan, et que j'ai présentés autrefois, bien qu'en ayant soin de m'exprimer d'une manière purement conjecturale, comme des coulées de lave refroidies, me paraissent encore, à la distance où je me les rappelle, offrir peu d'indices propres à justifier la dernière hypothèse. Dans le Volcan de Ansango, dont on peut suivre sans interruption la traînée volcanique, semblable au lit d'un fleuve, jusqu'à la pierre ponce qui borde les deux petits lacs, la pente conduisant de Lecheyacu à Pinantura, c'est-à-dire la différence de niveau entre 1 900 et 1 482 toises, soit 418 toises réparties sur un espace de 7 700, ne contredit en aucune façon ce que nous croyons savoir aujourd'hui des très-petits angles d'inclinaison qu'offrent en moyenne les coulées de lave. Dans le cas présent, l'inclinaison est de

3° 6′. Un renflement partiel du sol au milieu de la vallée ne paraîtrait pas même un obstacle, d'après ce que l'on a observé du reflux des masses liquides qui remontent les vallées, par exemple, lors de l'éruption du Scaptar Jakoul, en Islande, dans l'année 1783 (33).

Le mot lave ne signifie point une combinaison minérale particulière. Léopold de Buch dit que tout ce qui coule dans un volcan et prend une nouvelle assiette, en raison de sa fluidité, est de la lave, à quoi j'ajoute qu'il n'est pas nécessaire, pour changer de place, que les matières soient fluides, et que tout ce qui est contenu à l'intérieur d'un cône volcanique, est susceptible de former de nouveaux dépôts. Le premier récit de mon ascension au Chimborazo, publié seulement en 1837, dans l'*Annuaire astronomique* de Schumacher, contient déjà l'exposé de cette opinion (34). Je l'exprimais alors à l'occasion de fragments de porphyre augitique, ayant un diamètre de 12 à 14 pouces, que j'avais recueillis à la hauteur de 18 000 pieds, le 23 juin 1802, sur l'étroite arête de rocher qui conduit au faite de la montagne. « Ces remarquables fragments, disais-je, ont des cellules petites et brillantes, sont poreux et de couleur rouge; les plus noirs sont quelquefois légers comme la ponce, et semblent avoir été soumis récemment à l'action du feu. Jamais cependant ils ne se sont répandus en coulées comme la lave, mais vraisemblablement ils ont été rejetés à travers des failles qui sillonnent le versant de la montagne en forme de cloche, soulevée à une époque antérieure. » Cette ex-

plication pourrait emprunter un très-utile appui aux conjectures de mon cher et vieil ami Boussingault, qui considère les cônes volcaniques eux-mêmes comme des monceaux de débris trachytiques anguleux, soulevés à l'état solide et accumulés sans ordre. « Comme après leur amoncellement, dit-il, ces masses brisées occupent plus d'espace qu'à l'époque où elles étaient entières, il se forme de vastes cavernes entre les fragments, lorsqu'ils sont mis en mouvement par des effets de choc et de pression, sans compter ceux de l'élasticité volcanique. » Je suis très-éloigné de douter qu'il existe en certains endroits de semblables fragments et des cavités qui, dans les Nevados, se remplissent d'eau, bien que les belles colonnes de trachyte qui s'élèvent régulièrement, et d'ordinaire tout à fait perpendiculairement, sur le Pico de los Ladrillos, sur le Tablahama du Pinchincha, et en particulier sur le Chimborazo, au-dessus du petit lac de Yanacocha, m'aient paru avoir été formées dans les lieux mêmes. » Boussingault, dont j'aime à partager les vues, dans les questions de chimie appliqué à la géognosie, non moins que les opinions météorologiques, estime que ce que l'on nomme le Volcan de Ansango, et que pour ma part, je crois être une éruption de décombres sortis de deux petits cratères latéraux, est un soulèvement de blocs de rochers sur de longues failles (35). Comme il a exploré cette contrée trente ans après moi, il s'appuie sur l'analogie des relations géognostiques qui existent entre l'éruption d'Ansango et l'Antisana avec

celles du Yana-Urcu, dont j'ai tracé un plan détaillé, et du Chimborazo. Ce qui m'a détourné d'admettre un soulèvement sur des failles que suivrait dans toute son étendue la traînée volcanique d'Ansango, c'est que, ainsi que je l'ai rappelé déjà plusieurs fois, son extrémité supérieure semble indiquer elle-même comme point de départ les deux ouvertures actuellement remplies d'eau. Je n'ignore pas d'ailleurs l'existence de ces jetées d'une étendue considérable et d'une direction régulière; j'en ai vu, mais qui ne sont pas composées de roches fragmentaires, dans notre hémisphère, dans la Mongolie chinoise, au milieu de bancs de granite disposés en assises horizontales, et j'en ai donné la description (36).

L'Antisana a eu en 1590, une éruption enflammée (37), et une autre, vers le commencement du dernier siècle, vraisemblablement en 1728. Près du faîte, du côté du Nord-Nord-Est, on remarque une masse de rocher noir, sur laquelle ne peut se maintenir la neige même fraîchement tombée. Dans le printemps de 1801, à un moment où le sommet de la montagne était complétement dégagé de nuages, on vit, durant plusieurs jours, au-dessus de ce point, une colonne de fumée noire. Le 16 mars 1802, Bonpland, Carlos Montufar et moi, nous arrivâmes sur une arête de rocher, couverte de ponce et de scories qui ressemblaient à du basalte. Nous étions dans la région des neiges éternelles, à 2 837 toises de hauteur, par conséquent à 2 213 toises au-dessus du Mont-Blanc; la neige

était assez solide pour nous soutenir sur plusieurs points voisins de l'arête du rocher, ce qui arrive si rarement sous les tropiques. La température de l'air était comprise entre — 1°,8 et + 1°,4 du thermomètre centigrade. Sur le versant méridional, que nous n'avons point gravi, à la *Piedra de Azufre*, où des écailles se détachent quelquefois des roches par l'effet de la décomposition, on trouve des masses de soufre pur, de 10 à 12 pieds de longueur sur 2 d'épaisseur ; on ne connaît pas de sources sulfureuses dans les environs.

Bien que, dans la Cordillère orientale, le volcan d'Antisana, et surtout le versant occidental, depuis Ansango et Pinantura jusque vers le petit village de Pedregal, soient séparés du Cotopaxi par le volcan éteint de Passuchoa (38), dont on distingue de loin le cratère, désigné sous le nom de la Peila, par le Nevado Sinchulahua, et un autre d'une moindre élévation, le Rumiñaui, il y a cependant une certaine analogie entre les roches de ces deux montagnes colossales. Depuis le Quinche, toute la chaîne orientale des Andes a produit de l'obsidienne; cependant le Quinche, l'Antisana et le Passuchoa appartiennent au bassin dans lequel est situé la ville de Quito, tandis que le Cotopaxi limite le bassin de Lactacunga, de Hambato et de Riobamba. Le petit nœud des Altos de Chisinche, forme une espèce de chaussée qui sépare les deux bassins, et, ce qui est assez surprenant en raison du peu d'élévation de ces collines, les eaux du versant septentrional du Chisinche se rendent par les Rios de San Pedro, de Pita et de Guallabamba

dans la mer du Sud, tandis que celles du versant méridional vont se jeter dans le fleuve des Amazones et dans l'océan Atlantique, par le Rio Alaques et le Rio de San Felipe. Les nœuds de montagnes et les chaussées, tantôt d'une faible hauteur, comme les altos dont il vient d'être question, tantôt égales au Mont-Blanc, comme dans la route qui traverse le *Paso del Assuay*, forment avec les Cordillères des ramifications qui paraissent un phénomène plus récent et de moindre importance que le soulèvement des grandes chaînes parallèles. On a vu déjà que la roche trachytique du Cotopaxi, le plus puissant des volcans de Quito, offre beaucoup d'analogie avec celle de l'Antisana; on trouve aussi sur les pentes du Cotopaxi, et en plus grand nombre, les traînées de masses volcaniques, sur lesquelles nous nous sommes longuement étendus plus haut.

Il était intéressant pour nous de suivre ces traînées volcaniques jusqu'à leur origine, ou plutôt jusqu'au point où elles se cachent sous les neiges éternelles. Nous gravîmes le versant Sud-Ouest du volcan de Mulalo ou Mulahalo, le long du Rio Alaques, formé par la réunion du Rio de los Baños et du Rio Barrancas, et nous atteignîmes Pansache, situé à 11 322 pieds de hauteur, où nous séjournâmes sous la spacieuse *Casa del Paramo*, dans la plaine herbeuse connue sous le nom de *el Pajonal*. Bien que, pendant la nuit, il fût tombé jusqu'au point où nous nous trouvions une grande quantité de neige sporadique, nous arrivâmes cependant à l'est de la célèbre *Tête*

de l'Inca (Cabeza del Inga), dans la *Quebrada* et le *Reventazon de las Minas*, et plus tard, inclinant plus à l'Est encore, nous franchîmes l'Alto de Suniguaicu jusqu'à la gorge de la montagne du Lion ou Puma-Urcu, où, pour la première fois, le baromètre indiqua une hauteur de 2 263 toises. Une autre traînée de débris volcaniques, que nous ne vîmes qu'à distance, a glissé de la partie orientale du cône de cendres, couvert de neige, vers le Rio Negro, l'un des affluents du fleuve des Amazones, et vers le Valle Vicioso. Ces blocs, tantôt anguleux, tantôt arrondis, rarement écaillés comme ceux de l'Antisana, et d'un diamètre de 6 à 8 pieds, ont-ils été lancés à de grandes hauteurs du cratère qui couronne le Cotopaxi, sous la forme de scories ardentes, liquéfiées seulement sur les bords, et sont-ils retombés le long de la montagne, accélérés dans leur course par la fonte des neiges, ou bien, sans traverser l'air, sont-ils sortis directement des failles latérales du volcan? Ces questions ne sont pas encore résolues. Retournant sur nos pas à partir de Suniguaicu et de la *Quebrada del Mestizo*, nous visitâmes la longue et large croupe, dirigée du Nord-Ouest au Sud-Est, qui relie le Cotopaxi au *Nevado de Quelendaña*. Là, on ne trouve plus de blocs alignés; mais bien une espèce de chaussée, sur le dos de laquelle sont situés le petit cône *el Morro*, et, plus près du Quelendaña qui ressemble à un fer à cheval, plusieurs marais et deux petits lacs, les lagunes de Yauricocha et de Verdecocha. La roche du Morro et de toute cette ligne volca-

nique est un porphyre schisteux, d'un gris verdâtre, divisé en couches de 8 pouces d'épaisseur et très-régulièrement inclinées de 60° vers l'Est. Nulle part nous n'avons vu trace de coulées de lave proprement dites (39).

Dans l'île Lipari, riche en pierre ponce, au nord de Caneto, une coulée de lave, formée de ponce et d'obsidienne, part du cratère éteint mais bien conservé du *Monte di Campo Bianco*, et se dirige vers la mer, avec cette particularité assez remarquable que les fibres de la première substance sont parallèles à la coulée (40). D'après l'étude que j'ai faite de toutes ces relations locales, les carrières de ponce qui couvrent un espace considérable, à un mille de Lactacunga, offrent de l'analogie avec ce que l'on voit à Lipari. Ces carrières dans lesquelles la ponce est partagée en bancs horizontaux, et a tout à fait l'apparence d'une roche *in situ*, excitaient déjà en 1737, l'étonnement de Bouguer (41) : « On ne trouve, dit-il, sur les montagnes volcaniques que de simples fragments de pierre ponce d'une certaine grosseur; mais à sept lieues au sud du Cotopaxi, dans un point qui répond à notre dixième triangle, la pierre ponce forme des rochers entiers; ce sont des bancs parallèles de cinq à six pieds d'épaisseur, dans un espace de plus d'une lieue carrée. On n'en connaît pas la profondeur. Qu'on s'imagine quel feu il a fallu pour mettre en fusion cette masse énorme, et dans l'endroit même où elle se trouve aujourd'hui : car on reconnaît aisément qu'elle n'a pas été dérangée, et

qu'elle s'est refroidie dans l'endroit où elle a été liquéfiée. On a dans les environs profité du voisinage de cette immense carrière : car la petite ville de Lactacunga, avec de très-jolis édifices, est entièrement bâtie de pierre ponce, depuis le tremblement de terre qui la renversa en 1698. »

Ces carrières de ponce sont situées près du village indien de San Felipe, dans les collines de Guapulo et de Zumbalica, élevées de 480 pieds au-dessus de la plaine qui les entoure, et de 9 372 pieds au-dessus de la surface de la mer. Les couches supérieures dépassent par conséquent de 500 à 600 pieds le niveau de Mulalo et de la belle villa du Marquis de Maenza, bâtie aussi de blocs de pierre ponce, au pied du Cotopaxi, et remarquable autrefois par son architecture, mais aujourd'hui complétement détruite par des tremblements de terre. Les dépôts souterrains sont inégalement éloignés des deux volcans actifs, le Tungarahua et le Cotopaxi : à huit milles géographiques du premier, à quatre milles du second. On y arrive par une galerie. Les carriers assurent que les couches compactes horizontales, dont quelques-unes sont entourées de débris de ponce glaiseuse, pourraient fournir des blocs quadrangulaires de 20 pieds, sans aucune crevasse verticale. Cette ponce, en partie blanche, en partie d'un gris bleuâtre, a un éclat soyeux et des fibres très-fines et très-allongées. Les fibres parallèles ont quelquefois une apparence noueuse, et offrent dans ce cas une remarquable structure. Les nœuds sont formés par des fragments arrondis de

ponce finement poreuse, larges d'une ligne à une ligne et demie, autour desquels s'enroulent de longs filaments. On y trouve semées en faible quantité de petites tables hexagones de mica, d'un noir brun, des cristaux blancs d'oligoclase et de la hornblende noire; mais en revanche il y a absence complète de feldspath vitreux, qui d'ordinaire se mêle volontiers à la ponce, comme à Camaldoli près de Naples. La ponce du Cotopaxi diffère entièrement de celle des carrières de Zumbalica (42). Les filaments en sont courts, et, au lieu d'être parallèles, sont enchevêtrés les uns dans les autres. Toutefois, le mica magnésien n'est pas exclusivement empâté dans la pierre ponce; il se retrouve dans la masse constitutive du Cotopaxi (43). La pierre ponce paraît manquer complétement au volcan de Tungurahua, situé plus au Sud. Il n'y a pas trace d'obsidienne aux environs des carrières de Zumbalica; mais dans les blocs rejetés par le Cotopaxi et qui sont épars près de Mulalo, j'ai vu de grandes masses d'obsidienne noire à cassure conchoïde, empâtées dans du perlite décomposé, d'un gris bleu. On conserve des fragments de cette roche dans la Collection minéralogique de Berlin. Les carrières de ponce placées à 4 milles du pied du Cotopaxi paraissent, d'après leur constitution minéralogique, complétement étrangères à cette montagne, et n'avoir avec elle d'autre rapport que celui que présentent tous les volcans de Pasto et de Quito avec le foyer volcanique des cordillères équatoriales, qui embrasse plusieurs centaines de milles carrés. Ces

ponces ont-elles formé l'intérieur et le centre d'un cratère de soulèvement particulier, dont la circonvallation extérieure a été détruite par les nombreux bouleversements qui ont ravagé ces contrées ; ou sont-elles un banc horizontal, déposé tranquillement sur les failles, à une époque qui remonte aux premières rides de l'écorce terrestre? Quant à l'hypothèse de sédiments aqueux, produit par des alluvions, tels qu'il s'en présente souvent dans les masses de tuf volcanique, mêlées de coquillages et de débris végétaux, il y a plus de difficultés encore à l'admettre.

La grande masse de ponce, que j'ai trouvée sur le Rio Mayo, dans la cordillère de Pasto, entre Mamendoy et le *Cerro del Pulpito*, loin de tout échafaudage volcanique, et à 9 milles géographiques du volcan actif de Pasto, fournit matière aux mêmes questions. Léopold de Buch a signalé aussi à l'attention une éruption de pierre ponce, également isolée, que Meyer a décrite, et dont les fragments roulés forment dans le Chili, à l'est de Valparaiso, près du village de Tollo, une colline haute de 300 pieds. Le volcan de Maypo, qui, en se soulevant, a relevé des couches jurassiques, est à deux journées de marche de ce dépôt de pierre ponce (44). L'envoyé prussien à Washington, Frédéric de Gérolt, à qui nous devons les premières cartes géognostiques coloriées du Mexique, mentionne près de Huichapa, à 8 milles géographiques au sud-est de Queretaro et loin de toute espèce de volcan, un dépôt de pierre ponce, d'où l'on tire

des matériaux de construction (45). L'explorateur du Caucase, Abich, est disposé à croire, d'après ses observations personnelles, que le puissant dépôt de pierre ponce qui a fait éruption à travers les failles, sur la pente septentrionale de la chaîne centrale de l'Elbrouz, près du village de Tschgem, dans la petite Kabarda, est beaucoup plus ancien que le soulèvement de la montagne conique, dont il est d'ailleurs fort éloigné.

On voit, d'après ce qui précède, que l'activité volcanique du corps terrestre produit des fractures et des rides, grâce à l'abaissement de la température primitive causé par le rayonnement du calorique dans l'espace, et par suite de la contraction due au refroidissement des couches supérieures, ce qui amène simultanément la dépression des parties élevées et l'exhaussement des parties plus basses (46). Il est donc naturel de prendre comme mesure et comme témoignage de cette activité, dans les différentes régions de la Terre, le nombre des échafaudages volcaniques, c'est-à-dire des cônes et des dômes ouverts au sommet et soulevés au-dessus des crevasses, qui sont demeurés reconnaissables jusqu'à nos jours. On a plusieurs fois essayé de les compter, mais presque toujours l'opération a été faite très-incomplétement. On a pris pour des volcans distincts des collines d'éruption et des solfatares, appartenant à un seul et même système. L'étendue des espaces qui jusqu'ici sont restés fermés à toute investigation scientifique, est cependant, pour l'achèvement de ce travail, un

obstacle moins grave qu'on ne le suppose en général, attendu que la plupart des volcans ont leur siége dans les îles et les régions voisines des côtes. D'ailleurs, dans une recherche numérique que l'état actuel de nos connaissances ne permet pas de compléter, c'est beaucoup déjà d'obtenir un résultat qui peut être considéré comme une limite inférieure, et de déterminer avec une grande vraisemblance sur combien de points le centre liquéfié de la Terre est resté, dans les temps historiques, en libre communication avec l'atmosphère. D'ordinaire, cette communication se manifeste simultanément par les éruptions auxquelles livrent passage les charpentes volcaniques des montagnes en forme de cône, par l'accroissement de la chaleur et l'inflammabilité des sources thermales et des sources de naphte, enfin par l'extension plus grande des cercles d'ébranlement, phénomènes qui sont tous étroitement unis et dans une dépendance réciproque les uns des autres (47). Ici encore on retrouve la trace de Léopold de Buch, qui, dans ses appendices à la Description physique des îles Canaries, a tenté, le premier, d'embrasser sous un même point de vue cosmologique tous les systèmes volcaniques de la Terre, divisés en volcans centraux et en chaînes volcaniques. Le démembrement plus récent et par conséquent plus complet que j'ai entrepris moi-même, d'après les principes exposés plus haut (48), c'est-à-dire en excluant les cloches fermées et les simples cônes d'éruption, donne avec vraisemblance, comme nombre limite inférieur, un résultat fort diffé-

rent de ceux qui ont précédé. En composant cette liste, je me suis efforcé de comprendre tous les volcans qui sont entrés dans la période historique, en possession de leur activité.

On a souvent agité la question de savoir si, dans les parties du globe où les volcans sont réunis en plus grand nombre, et où se manifeste de la manière la plus active la réaction de l'intérieur contre l'écorce solide de la Terre, les matières liquéfiées sont plus rapprochées de la surface. Quelque moyen que l'on emploie pour déterminer au maximum l'épaisseur moyenne de l'écorce terrestre, soit que l'on choisisse la voie des mathémathiques pures que nous ouvre l'astronomie théorique (49), ou cette autre voie plus simple, qui repose sur la loi de la chaleur croissant en raison de la profondeur et sur les diverses températures auxquelles les roches entrent en fusion (50), il reste dans ce problème un grand nombre de quantités indéterminées. Telles sont l'influence d'une immense pression sur la fusibilité; la conductibilité, variant suivant les différentes roches, le singulier affaiblissement que fait subir à cette propriété, ainsi que l'a démontré Édouard Forbes, une élévation considérable de température; l'inégale profondeur du bassin océanique; enfin les accidents locaux qui se produisent dans la combinaison et la structure des failles aboutissant à la partie liquéfiée du globe. Si, sur quelques points de la Terre, la proximité plus ou moins grande de la couche qui marque la limite supérieure des matières en fusion explique l'abon-

dance des volcans et les communications plus fréquentes entre l'atmosphère et les profondeurs du globe, cette proximité à son tour peut dépendre, soit de la différence moyenne des niveaux entre le sol de la mer et les continents, soit de la profondeur à laquelle commence la masse liquéfiée, sous les différents méridiens et les différents parallèles; mais comment déterminer le point où cette surface commence? N'y a-t-il point de degrés intermédiaires entre une solidité complète et une entière fluidité? N'y a-t-il pas des transitions, comme celles dont il a été souvent question, lors des débats sur l'état pâteux de quelques formations plutoniques et volcaniques soulevées à la surface de la Terre, et sur le mouvement des glaciers? Ces états transitoires échappent à toute détermination mathématique, ainsi que ce que l'on a appelé la liquéfaction de l'intérieur de la Terre, sous l'énorme pression que ces régions supportent. Non-seulement il est peu probable en soi que la chaleur continue à croître avec la profondeur en proportion arithmétique, mais il peut intervenir aussi des perturbations locales, dues par exemple à des bassins souterrains : j'appelle ainsi des cavernes creusées dans la masse solide de la Terre, qui de temps à autre, sont remplies partiellement de bas en haut par des laves en fusion, et par les vapeurs qui reposent à la surface de ces laves (51). Déjà l'immortel auteur de la *Protogæa*, assigne un rôle à ces cavités, dans la théorie du décroissement de la chaleur centrale : « Postremo credibile est contrahentem se re-

frigeratione crustam bullas reliquisse, ingentes pro rei magnitudine, id est sub vastis fornicibus cavitates (52). » Moins il est vraisemblable que l'épaisseur de la croûte terrestre actuellement refroidie soit la même sur toute la surface du globe, plus il est important de déterminer le nombre et la situation géographique des volcans qui sont restés ouverts dans les temps historiques. Ce n'est que par des tentatives souvent renouvelées, que l'on peut espérer de compléter la théorie géographique des volcans.

I. EUROPE.

L'Etna.
Le Volcano des îles Lipari.
Le Stromboli.
Le volcan d'Ischia.
Le Vésuve.
Le volcan de l'île Santorin.
Le volcan de l'île de Lemnos.

Ces sept volcans appartiennent au grand bassin de la mer Méditerranée et à la côte d'Europe. Tous ont donné des témoignages de leur activité dans les temps historiques. C'est postérieurement à l'époque d'Alexandre que la montagne ignivome du Mosychlos dans l'île de Lemnos, qu'Homère appelle le séjour favori de Vulcain, a été détruite, avec l'île Chrysé, par des tremblements de terre, et s'est abîmée dans les flots (53). Le grand soulèvement et la disparition des trois Caimènes, au milieu du golfe de Santorin,

enfermé entre les îles de Théra, de Thérasia et d'Aspronisi, phénomène qui s'est renouvelé plusieurs fois depuis l'an 186 avant Jésus-Christ, jusqu'à l'an 1712 de notre ère, offre une analogie frappante avec un autre phénomène, à la vérité beaucoup moins considérable, avec l'île qui est sortie de la mer entre Sciacca et Pantellaria, et que l'on a désignée sous les noms de Graham, de Julia et de Ferdinandæa. Dans la presqu'île de Methone, dont nous avons déjà fait plusieurs fois mention (54), il existe des traces visibles d'éruptions volcaniques, au milieu d'un trachyte, d'un rouge brun, qui sort du calcaire, près de Kaimenochari et de Kaimeno (55).

Les volcans *antéhistoriques* qui portent encore des traces fraîches de coulées de lave, déversées par des cratères, sont, en allant du Nord au Sud : le Mosenberg et le Geroldstein, dans l'Eisel; en Hongrie, le grand cratère de soulèvement dans lequel est bâti Schemnitz; dans l'Auvergne, la chaîne des Puys ou des Monts-Dômes, le cône du Cantal, les Monts-Dore; dans le Vivarais, où les anciennes laves se sont fait jour à travers le gneiss, la coupe d'Aysac et le cône de Montpezat. Le Velay présente des éruptions de scories, sans coulées de laves; puis viennent les monts Euganéens, les collines d'Albano, Rocca Monfina et le Vultur, près de Teano et de Melfi. On trouve en Catalogne, les volcans éteints qui avoisinent Olot et Castell Follit (56), et plus au Sud encore, le groupe des Columbrettes, voisines des côtes de Valence, dont la plus grande,

qui présente la forme d'un croissant, l'ancienne Colubraria des Romains, renferme Montcolibre, rempli d'obsidienne et de trachyte cellulaire, et situé, d'après le capitaine Smyth, par 39° 54′ de latitude. On peut citer aussi l'île grecque de Nisyros, l'une des Sporades carpathiques, de forme exactement circulaire, au milieu de laquelle est située, sur une hauteur de 2 130 pieds, suivant les calculs de Ross, un enfoncement profond et entouré d'un rempart, contenant une solfatare qui fait entendre de violentes détonations et d'où rayonnent des coulées de lave. Ces laves allaient autrefois se jeter dans la mer, et fournissaient encore des meules volcaniques, au temps de Strabon; elles forment aujourd'hui de petits promontoires (57). Il est juste encore de mentionner, en raison de leur âge, les volcans sous-marins des îles Britanniques, et les remarquables effets qu'ils produisent sur les couches de la formation silurienne inférieure, ou formation de Llandeilo, dans laquelle on trouve empâtés des fragments cellulaires volcaniques. D'après l'importante observation de Roderick Murchison, les couches siluriennes inférieures des montagnes de Corndon, dans les comtés de Schrop et de Montgomery, contiennent même des masses éruptives de trapp (58). Nous terminerons par les remarquables filons de l'île Arran, et il restera encore d'autres points par lesquels a passé évidemment l'activité volcanique, sans que l'on puisse découvrir aucune trace des échafaudages à travers lesquels elle s'est fait jour.

II. ÎLES DE L'OCÉAN ATLANTIQUE.

Le volcan d'Esk, dans l'île Jean Mayen, a emprunté son nom au vaisseau de Scoresby, qui en a fait l'ascension. Il atteint à peine 1 500 pieds de hauteur. Il a au sommet un cratère ouvert, mais non enflammé. Il est formé d'un basalte riche en pyroxène et de trass.

Au sud-ouest de l'Esk, près du cap Nord de l'île des Œufs, est un autre volcan qui, à partir du mois d'avril 1818, a rejeté, de quatre mois en quatre mois, des quantités de cendres considérables.

Le Beerenberg, haut de 6 648 pieds, situé dans la partie Nord-Est de l'île Jean Mayen, par 71°,4′ de latitude, n'est point connu jusqu'ici comme volcan (59).

Les volcans de l'Islande : l'Œrœfa, l'Hécla, le Rauda-Kamba, etc.

Le volcan de l'île Pico, l'une des Açores, a eu une grande éruption de lave, du 1er mai au 5 juin 1800 (60),

Le pic de Ténériffe.

Le volcan de l'île Fogo, l'une des îles du cap Vert (61).

En ce qui concerne l'*activité volcanique antérieure aux temps historiques*, il est difficile de la rattacher, pour l'Islande, à des centres déterminés. On peut cependant diviser, avec Sartorius de Waltershausen, les volcans de cette île en deux classes : ceux qui n'ont eu qu'une seule éruption, et ceux qui ont rejeté des coulées de lave à plusieurs reprises, par une même

faille principale. A la première catégorie appartiennent le Rauda-Kamba, le Scaptar, l'Ellidavatan, situé au sud-est de Reykjavik et d'autres peut-être; la seconde catégorie, qui témoigne d'une individualité persévérante, comprend les deux plus hauts volcans de l'Islande : l'Œrœfa qui dépasse 6000 pieds, et le Snœfiall, puis l'Hécla, etc. De mémoire d'homme, le Snœfiall n'a pas été en activité, l'Œrœfa, au contraire, est célèbre par les formidables éruptions de 1362 et de 1727 (62). — Dans l'île de Madère (63), les deux plus hautes montagnes, le Pico Ruivo, de forme conique, qui a 8685 pieds, et le Pico de Torres, qui n'en a guère moins, et dont les pentes abruptes sont couvertes de laves scorifiées, ne peuvent être considérés comme les centres de l'activité volcanique, attendu qu'en plusieurs endroits, notamment près des côtes, on a trouvé des ouvertures éruptives, et même un grand cratère, le cratère de la Lagoa voisine de Machico. Il n'est plus possible de suivre les différentes coulées de lave qui se sont confondues en se superposant. Des restes d'anciennes dicotylédonées et de fougères, soigneusement étudiés par Charles Bunbury, se retrouvent enfouis dans des soulèvements volcaniques de tuf et de terre glaise, recouverts quelquefois d'un basalte plus récent. — Le groupe Fernando de Noronha, situé 2°27′ à l'est de Pernambuco, par 3°50′ de latitude australe, est composé de très-petites îles qui consistent en roches de phonolithe, contenant de la hornblende. Il n'existe point de cratères, mais seulement des crevasses en forme de

filons, remplies de trachyte et d'amygdaloïde basaltique, qui traversent des couches de tuf blanc (64). — Dans l'île de l'Ascension, la plus haute altitude est de 2 690 pieds. Les laves basaltiques contiennent plus de feldspath vitreux que d'olivine, et forment des coulées très-distinctes, que l'on peut suivre facilement jusqu'au cône d'éruption, formé de trachyte. Cette dernière roche, de couleur brillante, et souvent décomposée comme du tuf, domine à l'intérieur et dans la partie sud-est de l'île. Dans les masses de scories rejetées par la Green Mountain, sont empâtés des fragments anguleux, contenant de la syénite et du granite, qui rappellent les laves du Jorullo (65). A l'ouest de la même montagne, se trouve un vaste cratère béant. Des bombes volcaniques, creuses en partie, et qui n'ont pas moins de 10 pouces de diamètre, sont dispersées à l'entour, en quantité innombrable, ainsi que de grandes masses d'obsidienne. — Toute l'île de Sainte-Hélène est volcanique. A l'intérieur, dominent des couches de lave feldspathiques; près des côtes, règne un basalte traversé par d'innombrales filons (dikes), comme à Flagstaff-Hill. Entre Diana-Peak et Nest-Lodge, dans la chaîne centrale, existe un précipice creusé à pic et arrondi en demi-lune, reste d'un vaste cratère détruit, où sont amoncelées des scories et de la lave cellulaire (the mere wreck of one great crater is left) (66). Les couches de lave ne sont pas nettement limitées, et l'on ne peut en suivre le cours aussi facilement que celui des coulées proprement dites, qui ont une moindre largeur.

— Tristan da Cunha, située par 37° 3′ de latitude australe, 13°48′ de longitude, et découverte dès l'année 1506 par les Portugais, est une petite île circulaire, qui n'a pas plus d'un mille et demi de diamètre, au centre de laquelle s'élève une montagne conique, haute d'environ 7 800 pieds, d'après le rapport du capitaine Denham, et formée, suivant le même témoignage, de roches volcaniques (67). — Au Sud-Est, par 53° de latitude australe, est située l'île de Thompson, également volcanique, et entre les deux, dans la même direction, l'île Gough, nommée aussi Diego-Alvarez. Puis viennent l'île de la Déception, qui a la forme d'un anneau étroit (latit. austr. 62°55′) et l'île Bridgman, appartenant au groupe de South-Schetland. Ces deux îles volcaniques offrent des couches de glace, de pierre ponce, de cendre noire, d'obsidienne, et fournissent des émissions perpétuelles de vapeurs chaudes (68). Au mois de février 1842, on vit l'île de la Déception vomir des flammes, sur treize points différents, disposés en cercle. Il y a lieu de s'étonner, que, l'océan Atlantique possédant encore tant d'autres îles volcaniques, ni la petite île complétement plate de Saint-Paul (Peñedo de San Pedro), située un degré au nord de l'équateur, et qui contient un grunsten schisteux légèrement laminaire, passant à la serpentine (69), ni les Malouines avec leur schiste argileux quartzifère, ni la Géorgie du Sud, ni les îles Sandwich, ne paraissent renfermer de roches volcaniques. Au contraire, une région de l'océan Atlantique, située par 0° 20′ au sud de l'équateur

et par 22° de longitude occidentale, est considérée comme le siége d'un volcan sous-marin (70). Le 19 mai 1806, Krusenstern a vu, dans ces parages, des colonnes de fumée noire s'élever du sein de la mer, et l'on a présenté en 1836, à la Société asiatique de Calcutta, des cendres volcaniques, recueillies à deux reprises sur le même point, au sud-est du rocher de Saint-Paul. Souvent les bâtiments ont éprouvé d'étranges secousses, et la mer s'est gonflée démesurément, dans cette *Volcanic Region;* c'est ainsi que sont désignés ces parages dans la belle carte de l'Amérique dressée par le lieutenant Samuel Lee, et intitulée : *Track of the surveying Brig Dolphin*, 1854. D'après les recherches fort exactes de Daussy, ce phénomène, attribué à des secousses souterraines qui ébranlaient le lit de la mer, s'est reproduit cinq fois depuis l'année 1747, jusqu'au voyage de circumnavigation de Krusenstern, et sept fois dans l'intervalle de 1806 à 1836. On n'a cependant rien constaté de particulier, au mois de janvier 1852, dans l'expédition du brick le *Dauphin*, qui en souvenir du Krusenstern's Volcano, avait reçu l'instruction de pratiquer des sondages entre l'équateur et 7° de latitude australe, et entre 18° et 27° de longitude; la même remarque s'applique à l'*Exploring Expedition* de Wilkes, qui remonte à 1838.

III. AFRIQUE.

Le volcan Mongo-ma Leba, situé dans la chaîne des monts Cameroun, par 4° 12′ de latitude boréale,

à l'ouest du point où le fleuve du même nom se jette dans la baie de Biafra et à l'est du delta formé par le Kowara ou Niger, a eu, d'après le capitaine Allan, une éruption de lave, en 1838. La faille qui court du Sud-Sud-Ouest au Nord-Nord-Est, sur laquelle sont disposées en ligne droite les quatre îles volcaniques d'Anobon, de Saint-Thomas, des Princes et de San Fernando Po, est dirigée vers le Cameroun qui, d'après les mesures du capitaine Owen et du lieutenant Boteler, atteint la hauteur d'environ 12200 pieds (71).

Dans l'Afrique orientale, un peu à l'ouest de la montagne neigeuse Kignea, par 1° 20′ environ de latitude méridionale, le missionnaire Krapf a découvert, en 1849, une montagne voisine des sources du Dana, et située à 20 milles géographiques au nord-ouest des côtes de Mombas, que l'on suppose être un volcan. Sous un parallèle de deux degrés environ plus méridional que celui de Kignea, une autre montagne neigeuse, le Kilimandjaro, qui n'est guère éloignée de plus de 50 milles géographiques du même littoral, a été découverte en 1847, par le missionnaire Rahmann. Un peu plus à l'Ouest, on rencontre une troisième montagne neigeuse, le Doengo Engay, signalée par le capitaine Short. Ce n'est qu'au prix de beaucoup d'efforts et de dangers, qu'on a pu reconnaître l'existence de ces Nevados.

L'activité volcanique dont ce vaste continent, si peu exploré à l'intérieur, fait preuve entre 7° de latitude boréale et 12° de latitude australe, c'est-à-dire

entre le parallèle d'Adamaua et celui du mont Lubalo, qui forme le partage des eaux, est attestée, d'après Ruppell, par les alentours du lac Tzana, dans le royaume de Gondar, et, suivant Rochet d'Héricourt, par les laves basaltiques et les couches de trachyte et d'obsidienne de Schoa. Les échantillons qu'a rapportés d'Héricourt, très-analogues aux roches du Cantal et du Mont-Dore, ont été analysés par Dufrénoy (72). Bien que dans le Kórdofan, la montagne conique de Koldghi ne jette plus ni flammes ni fumée; il paraît constant néanmoins qu'on y trouve des roches noires, poreuses et vitrifiées (73).

A Adamaua, au sud du grand fleuve Benue, s'élèvent les montagnes isolées de Bagele et d'Alantika, qui, l'une par sa forme conique, l'autre par sa forme arrondie en dôme, se sont révélées au docteur Barth, dans son voyage de Kouka à Iola, comme des montagnes trachytiques. Un naturaliste, enlevé trop tôt à la science, Overweg, a trouvé, à l'ouest du lac Tsad, dans la contrée de Gudschéba, des cônes de basalte, colonnaires et riches en olivine, qui ont percé, tantôt des couches de grès rouge argileux, tantôt des couches de granite quartzifère; ce fait est attesté dans les notices que Pétermann a extraites des Journaux d'Overweg, de Barth et de Vogel.

La rareté des volcans actifs dans ce continent peu articulé, dont le littoral est suffisamment connu, est un phénomène singulier. Faut-il donc supposer qu'il existe, dans les régions inconnues de l'Afrique centrale, surtout au sud de l'équateur, de vastes bassins

analogues au lac Ouniamesi, nommé antérieurement N'yassi par le docteur Cooley, sur les bords desquels s'élèvent des volcans, tels que celui de Demavend, près de la mer Caspienne. Aucune Relation émanant des indigènes, qui ont cependant le goût des voyages, ne nous a fourni jusqu'ici le moindre renseignement à ce sujet.

IV. ASIE.

1° *Partie occidentale et centrale de l'Asie.*

Le volcan de Demavend (74), bien qu'il soit encore en activité, ne laisse échapper que peu de fumée, et avec des intervalles, ainsi que l'ont constaté Olivier, Morier et Taylor, Thomson en 1837.

Le volcan de Medina; éruption de lave en 1276.

Le volcan Djebel el Tir (Tair ou Ther), haut de 840 pieds, qui forme une île dans la mer Rouge entre Loheia et Massaua.

Le volcan Pe-schan, situé dans la grande chaîne du Thian-schan, ou montagne Céleste, au nord de Koutsche, a eu des éruptions de lave successives, durant une période bien connue historiquement, depuis l'an 89 de notre ère jusqu'au commencement du VIIe siècle.

Le volcan Hotscheou, nommé aussi volcan de Tourfan dans les géographies chinoises, si riches en détails, est situé à 30 milles de la grande solfatare d'Oroumtsi, près de l'extrémité orientale du Thian-schan, et en face de la belle et fertile contrée de Hami.

Le volcan de Demavend, qui atteint une hauteur de plus de 18 000 pieds, est situé à 9 milles géographiques environ de la côte méridionale de la mer Caspienne, dans le Mazenderan, presque à égale distance de Rescht et d'Asterabad, sur la chaîne de l'Hindou-Kho qui s'abaisse rapidement à l'Ouest vers Herat et Meschid. J'ai rendu vraisemblable dans un autre ouvrage (75), l'opinion que l'Hindou-Kho, à partir de Chitral et du Cafiristan, est le prolongement occidental de la puissante chaîne du Kouen-Lun qui borne le Tibet au Nord, et coupe, dans le Tsoungling, la chaîne méridienne de Bolor. Le Demavend appartient à l'Elbrouz persique ou caspien, système de montagne qu'il ne faut pas confondre avec l'Elbrouz situé 7° 1/2 plus au Nord et 10° plus à l'Ouest. Le mot Elbrourz est une corruption du mot Albordj, qui signifie Montagne du Monde et se rattache à l'ancienne cosmogonie du peuple Zend.

En considérant, d'un point de vue général, l'allure des chaînes montagneuses de l'Asie centrale, on reconnaît que le volcan de Demavend borne la grande chaîne du Kouen-Lun, près de son extrémité occidentale. De même, à l'extrémité opposée, il existe une autre montagne ignivome, dont j'ai le premier fait connaître l'existence, et qui mérite une attention particulière (76). Dans le travail auquel s'est livré, sur mon invitation, mon ami et mon collègue à l'Institut, Stanislas Julien, pour chercher dans les sources si abondantes de l'ancienne géographie chinoise des détails relatifs au Bolor, au Kouen-Lun et à la mer

d'Étoiles, cet érudit pénétrant, a trouvé, dans le grand Dictionnaire publié au commencement du XVIIIe siècle par l'Empereur Yongtsching, la description de la flamme éternelle qui s'échappe d'une caverne creusée dans la colline Schinkhieou, sur le penchant de la chaîne orientale du Kouen-Lun. La colline d'où sort ce phénomène lumineux, à quelque profondeur qu'il prenne naissance, peut difficilement être appelée un volcan ; elle me paraît rappeler plutôt la Chimère de Lycie, située près de Deliktasch et de Yanartasch, que les Grecs connurent de si bonne heure, et qui n'est autre qu'une fontaine de feu, une source de gaz enflammé, continuellement entretenue par l'activité volcanique de la Terre (77).

Des écrivains arabes nous apprennent, mais le plus souvent sans citer de dates précises, que des éruptions de lave ont eu lieu encore, au moyen âge, sur la côte sud-ouest de l'Arabie, dans la chaîne des îles de Zobayr, dans le détroit de Bab-el-Mandeb et dans celui d'Aden, dans l'Adhramaut, dans le détroit d'Ormuz et dans la partie occidentale du golfe persique, c'est-à-dire sur des points appartenant tous à un sol qui, depuis un temps immémorial, a été un foyer d'activité volcanique (78). Burckhardt a trouvé, dans la chronique de Samhudy, qui contient l'histoire de la célèbre ville du même nom, située dans l'Hedschaz, l'époque d'une éruption volcanique qui éclata près de Médine, 12° 30′ au nord du détroit de Bab-el-Mandeb. La date indiquée correspond au 2 novembre 1276, mais Aboulmahasen nous apprend, d'après

Seetzen, qu'une éruption ignée s'était déjà produite dans le même lieu, 22 ans plus tôt, en 1254 (79). L'île volcanique Djebel-Tair, dans laquelle Vincent a reconnu l'île éteinte du *Periplus maris Erythræi*, est encore active d'après le rapport de Botta, d'accord avec les renseignements recueillis par Ehrenberg et Russegger (80). Si l'on désire de plus amples détails sur toute la contrée qui entoure le détroit de Bab-el-Mandeb et l'île basaltique de Périm; sur l'enceinte en forme de cratère, au milieu de laquelle est située la ville d'Aden; sur l'île de Seerah et ses coulées d'obsidienne, recouvertes de pierre ponce; enfin sur les groupes d'îles de Zobayr et de Farsan, dont Ehremberg a découvert en 1825 la nature volcanique, on les trouvera dans le beau livre de Charles Ritter (81).

Le système volcanique du Thian-schan, qui traverse l'Asie centrale de l'Est à l'Ouest, entre l'Altai et le Kouen-Lun, a été quelque temps l'objet particulier de mes recherches (82). Au peu qu'Abel Rémusat avait puisé dans l'*Encyclopédie japonaise*, j'ai pu joindre les fragments plus importants recueillis par Klaproth, Neumann et Stanislas Julien. Si l'on ajoute au Thian-schan l'Asferah, qui, commençant au delà de la chaîne méridienne de Kosyourt-Bolor, se prolonge, à l'Ouest, jusque sous le méridien de Samarcande, et dans lequel Ibn-Haukal et Ibn-al-Vardi ont signalé et décrit, comme dans le Thian-schan, des puits de feu et des crevasses rejetant du sel ammoniac, peut-être même des flammes, la lon-

gueur totale de la chaîne est huit fois supérieure à celle des Pyrénées (83). Il est dit d'une manière expresse, dans l'histoire de la dynastie des Thang, que « sur l'une des pentes du Pes-chan, qui rejette continuellement des flammes et de la fumée, les pierres s'enflamment, fondent et coulent sur une étendue de plusieurs *Li*, comme de la graisse liquide; cette masse molle se durcit en se refroidissant. » On ne saurait mieux caractériser une coulée de lave. Dans le XLIXe livre de la grande Géographie de l'Empire chinois, imprimée aux frais de l'État, à Pékin, de 1789 à 1804, les montagnes ignivomes du Thian-schan sont décrites comme étant encore en activité. Leur situation est tellement centrale qu'elles sont séparées des côtes de la mer glaciale et des embouchures les plus voisines, celles du Gange et de l'Indus, par une distance à peu près égale, qui est de 380 milles géographiques; du lac d'Aral par 255 milles; des lacs sacrés d'Issikal et de Balkash par 43 et 52 milles. Des pèlerins de la Mecque, qui subirent à Bombay, en 1835, un interrogatoire officiel, ont aussi donné des renseignements sur les flammes qui s'élèvent de la montagne de Tourfan ou Hotscheou (84). Quand donc enfin un voyageur, préparé à cette exploration, se décidera-t-il à visiter les volcans de Pes-chan et de Tourfan, de Barkoul et de Hami, en partant de la ville de Gouldja sur l'Ili, qui est d'un abord si facile?

La situation mieux éclaircie aujourd'hui de la chaîne volcanique du Thian-schan a très-naturelle-

ment soulevé la question de savoir si la tradition d'après laquelle des feux éternels brûlent au fond du fleuve *el-Macher*, dans la contrée fabuleuse de Gog et de Magog, n'avait point pour origine les éruptions du Pe-schan ou du volcan de Tourfan. Ce mythe oriental, répandu d'abord sur la côte occidentale de la mer Caspienne, près des portes de fer de Derbend (Pylæ Albaniæ), a voyagé comme presque tous les mythes, et a fait une longue route dans la direction de l'Est. Edrisi fait partir de Bagdad pour le pays des Ténèbres, dans la première moitié du IXe siècle, Salam El-Terdjeman, interprète de l'un des kalifes abassides. Le voyageur traverse la steppe des Baschkires, et arrive à la montagne neigeuse de Cocaïa, entourée par le grand mur de Magog ou Madjoudj. Amédée Jaubert, à qui nous devons les compléments de l'ouvrage du géographe nubien, a démontré que les flammes qui brûlent sur la pente du Cocaïa n'ont rien de volcanique (85). Plus loin vers le Sud, Edrisi place le lac Tehama. Je crois avoir à peu près prouvé que le Tehama est le même que le grand lac Balkasch, dans lequel se jette la rivière d'Ili, et qui n'est que de 45 milles plus méridional que le Cocaïa. Un siècle et demi après Edrisi, Marco Polo plaçait les murs de Magog dans les montagnes d'In-schan, à l'est du plateau de Gobi, vis-à-vis du fleuve Hoang-ho et des murailles de la Chine, dont, chose assez singulière, le célèbre voyageur vénitien parle aussi peu que de l'usage du thé. L'In-schan, qui borne les possessions du prêtre Jean, peut être considéré comme

le prolongement oriental de la chaîne du Thian-schan (86).

C'est à tort que pendant longtemps on s'est représenté deux montagnes coniques, qui jadis vomissaient des laves, le volcan de Pe-schan et l'Hotscheou de Tourfan, séparés, sur une longueur de 105 milles géographiques, par le puissant nœud de Bogdo-Oola, constamment couvert de neige et de glace, comme formant un groupe volcanique isolé. Je crois avoir prouvé qu'au sud et au nord de la longue chaîne du Thian-schan, de même que dans le Caucase, il existe une connexion géologique très-étroite entre l'activité volcanique et les limites des cercles d'ébranlement, les sources chaudes, les solfatares, les failles d'où s'échappent de l'ammoniac, et les dépôts de sel gemme.

Comme, dans l'opinion que j'ai souvent exprimée, et à laquelle adhère aujourd'hui le célèbre explorateur du système caucasien, Abich, le Caucase n'est autre chose que le prolongement de a faille de Thian-schan et de l'Asferah, en deçà de la grande dépression aralo-caspienne (87), il convient de citer à la suite du Thian-schan, quatre volcans éteints, dont l'activité remonte aux temps antéhistoriques : l'Elbrouz (haut. 17 352 pieds), l'Ararat (haut. 16 056 pieds), le Kasbegk (haut. 15 512 pieds), et le Savalan (haut. 14 787 pieds) (88). Par leur élévation, ces volcans sont intermédiaires entre le Cotopaxi et le Mont-Blanc. Le grand Ararat ou Agri-dagh, dont le sommet, gravi pour la première fois par Fré-

déric de Parrot, le 27 septembre 1829, l'a été à plusieurs reprises, en 1844 et 1845, par Abich, et enfin, en 1850, par le colonel Chodzko, a, comme le Chimborazo, la forme d'un dôme, avec deux relèvements très-peu considérables au bord du sommet, mais sans cratère. Les plus grandes et probablement les plus récentes des éruptions de lave, qui sont sorties de l'Ararat dans les temps antéhistoriques, se sont fait jour au-dessous de la limite des neiges. Ces éruptions sont de deux espèces : ou bien elles sont trachytiques, avec du feldspath vitreux, et semées de pyrite sulfureuse, facile à décomposer ; ou elles sont doléritiques et composées surtout de labrador et d'augite, comme les laves de l'Etna. Abich estime que les éruptions doléritiques de l'Ararat sont plus récentes que les éruptions trachytiques. Les endroits d'où sont sorties les coulées de lave, tous placés au-dessous de la limite des neiges éternelles, sont souvent marqués par des cônes d'éruption et par de petits cratères, entourés de scories. Cela est vrai notamment, dans la grande plaine herbeuse de Kip-Ghioll, sur le versant nord-ouest de la montagne. La vallée profonde de Saint-Jacques, espèce de gorge qui monte jusqu'au sommet de l'Ararat, et, vue même d'une grande distance, donne à la montagne un caractère particulier, offre beaucoup de ressemblance avec le *Val del Bove* de l'Etna, et permet aussi de contempler la structure intérieure du dôme; il y a cependant cette différence remarquable, que l'on a bien trouvé dans la vallée de Saint-Jacques

des masses trachytiques, mais non des coulées de lave, ni des couches de scories et de rapillis (89). Le grand et le petit Ararat, dont le premier, d'après les excellents travaux géodésiques de Wassili Fedorow, est situé 3′ 4″ au nord, 6′ 42″ à l'ouest du second, s'élèvent sur le bord méridional de la vaste plaine traversée par une grande sinuosité de l'Araxes. Tous deux sont situés sur un plateau volcanique, de forme elliptique, dont le grand axe est dirigé du Sud-Est au Nord-Ouest. Le Kasbegk et le Tschegem n'ont pas non plus de cratère au sommet, bien que, d'après Wladikaukas, le premier ait déversé du côté du Nord de puissantes éruptions. Le plus grand de tous ces volcans éteints, le cône trachytique de l'Elbrouz, sorti des montagnes de schiste talqueux et dioritique qui dominent la vallée du Backsan, a un cratère-lac. De semblables cratères existent sur l'âpre plateau de Kely, d'où s'écoulent des courants de lave, qui se fraient un passage au milieu de cônes d'éruption. D'ailleurs, ici comme dans les Cordillères de Quito, les basaltes sont fort distants du système trachytique ; ils ne commencent que 6 ou 8 milles au sud de la chaîne de l'Elbrouz et du Tschegem, dans la vallée supérieure du Phase ou Rhion.

2° *Partie nord-est de l'Asie, presqu'île du Kamtschatka.*

La presqu'île du Kamtschatka, depuis le cap Lopatka, situé, d'après Krusenstern, par 51° 3′, jusqu'au cap Oukinsk, appartient, ainsi que l'île de Java, le Chili et l'Amérique centrale, aux régions dans

lesquelles sont réunis sur le moindre espace le plus grand nombre de volcans, encore actifs pour la plupart. On en compte 14 au Kamtschatka, dans une étendue de 105 milles géographiques. Pour l'Amérique centrale, entre le volcan de Soconousko et Turrialva, de la province de Costa Rica, deux points séparés par un intervalle de 170 milles, je trouve 29 volcans, dont 18 brûlent encore. Pour le Pérou et la Bolivie, les 105 milles qui s'étendent du volcan de Chacani à celui de *San Pedro de Atacama*, en renferment 14, dont 3 seulement ont conservé leur activité. Au Chili, il y a, depuis le volcan de Coquimbo jusqu'à celui de San Clemente, 240 milles et 24 volcans, sur lesquels 13 ont donné des témoignages de leur activité dans les temps historiques. La connaissance des volcans du Kamtschatka, considérés au point de vue de la forme, de la hauteur et du lieu astronomique, a été noblement agrandie, dans ces derniers temps, par Krusenstern, Horner, Hofmann, Lenz, Lütke, Postels, le capitaine Beechey et surtout par Adolphe Erman. La presqu'île est traversée dans sa longueur par deux chaînes parallèles. C'est dans la chaîne la plus orientale que sont accumulés les volcans, dont les plus élevés atteignent une hauteur de 10 500 à 14 800 pieds. Ils se succèdent dans l'ordre suivant, du Sud au Nord :

Le volcan d'Opalinsk, le même que le pic Koscheleff de l'amiral Krusenstern, situé par 51°21′ de latitude, d'après le capitaine Chwostow, il atteint pres-

que la hauteur du pic de Ténériffe, et était très-actif à la fin du XVIIIe siècle.

La Hodoutka Sopka (51° 35′) ; entre ce volcan et le précédent est situé, par 51° 32′, un cône volcanique sans nom, qui, d'après le témoignage de Postels, paraît éteint, ainsi que la Hodoutka.

La Poworotnaja Sopka (52° 22′) qui, au rapport du capitaine Beechey, a 7 442 pieds de haut (90).

L'Assatschinskaja Sopka (52° 2′) a eu de grandes éruptions de cendres, surtout en 1828.

Le volcan Wiljoutschinsker (52° 52′), haut de 6 918 pieds d'après le capitaine Beechey, de 6 330 d'après l'amiral Lutke, est situé au delà de la baie de Torinsk, à 5 milles géographiques seulement du port de Saint-Pierre et Saint-Paul.

L'Awatschinskaja ou Gorelaja-Sopka (53° 17′), haut, d'après Erman, de 8 360 pieds, a été gravi pour la première fois par Mongez et Bernizet, dans l'expédition de La Pérouse. Il l'a été depuis, par mon ami et mon compagnon de voyage en Sibérie, Ernest Hofmann, dans le voyage de circumnavigation de Kotzebue, au mois de juillet 1824; par Postels et Lenz, dans l'expédition de l'amiral Lutke, en 1828, et enfin par Erman, en septembre 1829. Erman a fait cette importante observation géognostique que le trachyte a rompu, en se soulevant, des couches siluriennes de schiste et de grauwacke. L'Awatschinskaja, d'où s'échappe continuellement de la fumée, a donné, en octobre 1837, le spectacle d'une effroyable éruption, il en avait eu une faible au mois d'avril 1828 (91).

Très-près du volcan d'Awatscha s'élève la Koriatskaja ou Strjeloschnaja Sopka, située par 53° 19' et haute de 10 518 pieds, d'après les mesures de Lütke (92). Les habitants se servaient encore dans le dernier siècle de l'obsidienne, que cette montagne fournit en abondance, pour garnir l'extrémité de leur flèches, comme ont fait aussi les Mexicains, et, dans une haute antiquité, les Hellènes.

La Jupanowa Sopka, située, d'après les déterminations de Erman, par 53° 32' (93). Le sommet est sensiblement aplati, et Erman dit d'une manière formelle que cette montagne, en raison de la fumée qu'elle exhale et du bruit souterrain qu'elle fait entendre, a été de tout temps comparée au puissant Schiwelutsch, et rangée au nombre des montagnes ignivomes dont les propriétés volcaniques ne sauraient être mises en doute. La hauteur, mesurée de la mer par Lütke, a été évaluée à 8 496 pieds.

La Kronotskaja Sopka, haute de 9 954 pieds, et située sur le lac du même nom, par 54° 8'. La montagne, de forme conique, et terminée par une pointe très-aiguë, porte à son sommet un cratère fumant (94).

Le volcan Schiwelutsch, à 5 milles au sud-est de Jelowka. Cette montagne était presque inconnue avant le voyage d'Erman, auquel elle a fourni la matière d'un travail important et fort remarquable (95). Latitude de la pointe septentrionale, 56° 40'; hauteur, 9 894 pieds. Latitude de la pointe méridionale, 56° 39'; hauteur, 8 250 pieds. Lorsqu'Erman fit l'ascension du Schiwelutsch, il le trouva exhalant une quantité con-

sidérable de fumée. De grandes éruptions se sont produites en 1739 et durant l'intervalle de 1790 à 1810. Il n'y eut pas, dans les dernières, de coulée de lave, mais des éjections de roches volcaniques désagrégées. D'après C. de Dittmar, le sommet septentrional s'écroula, dans la nuit du 17 au 18 février 1854, et cet accident fut accompagné d'une éruption de véritables coulées de lave, qui n'a pas cessé depuis.

La Tolbatschinskaja Sopka, qui répand une fumée abondante, et offrait autrefois cette particularité de déplacer souvent les ouvertures par lesquelles s'échappaient les éjections de cendres. D'après Erman, la Tolbatschinskaja Sopka est située par 55° 51'; sa hauteur est de 7 800 pieds.

L'Uschinskaja Sopka, en communication étroite avec le volcan de Kliutschewsk. Latit. 56° 0', haut. 11 000 pieds (96).

La Kliutchewskaja Sopka (latit. 56° 4'), le plus haut et le plus actif de tous les volcans de la presqu'île du Kamtschatka, a été explorée à fond par Erman, au point de vue de la géologie et de l'hypsométrie. Suivant le rapport de Kraschenikoff, le Kliutschewsk a eu de grandes éruptions ignées, de 1727 à 1731 et de 1767 à 1795. Le 11 septembre 1829, Erman a vu, durant une ascension périlleuse, le sommet du volcan lancer des pierres enflammées, des cendres et des vapeurs, tandis que beaucoup plus bas, une vaste coulée de lave s'échappait d'une faille ouverte sur le versant occidental. La lave du Kliutschewsk est riche aussi en obsidienne. D'après

Erman, cette montagne est située par 56° 4′ de latitude, et sa hauteur était très-exactement, en septembre 1829, de 14 790 pieds(97). Au mois d'août 1828, l'amiral Lütke avait trouvé, par des hauteurs angulaires prises sur la mer à 40 milles marins de distance, 15 480 pieds (98). En tenant compte de cette mesure, et en comparant les excellentes esquisses du baron de Kittlitz, qui accompagnait l'amiral Lütke dans son expédition sur le Seniawin, avec ses propres observations de 1829, Erman a été amené à cette conclusion que, dans le court espace de 13 mois, la forme et la hauteur du sommet ont subi de grands changements. Je crois, dit Erman (99), que l'on peut, sans craindre de se tromper, admettre qu'au mois d'août 1828, le sommet était de 250 pieds plus élevé qu'au mois de septembre 1829, pendant mon séjour dans la contrée de Kliutschi, et adopter, pour la première époque, le nombre de 15 040 pieds. Sur le Vésuve, en prenant pour point de départ de mes mesures, la hauteur de la Rocca del Palo, point culminant de la partie septentrionale du cratère, telle que Saussure l'a évaluée en 1773 à l'aide du baromètre, je suis arrivé à ce résultat, que, de 1773 à 1805, c'est-à-dire en 32 ans, le bord septentrion[illegible] tère s'est affaissé de 36 pieds; mais qu[illegible] 1822, c'est-à-dire en 49 ans, il paraît s[illegible] de 96 pieds (100). En 1822, Monticell[illegible] trouvé pour la Rocca del Palo, 624 [illegible] trouvé 629, et j'ai adopté finalement c[illegible] tion la plus probable, le nombre de 62[illegible]

ans plus tard, au printemps de 1855, les belles mesures barométriques de l'astronome d'Olmütz, Jules Schmidt, ont donné de nouveau pour résultat 624 toises (1). Quelle part revient dans ces divergences à l'imperfection des mesures et de la formule barométrique? On pourrait multiplier utilement les comparaisons de ce genre et arriver à des résultats plus sûrs, si, au lieu de refaire souvent à nouveau tout un ensemble d'opérations trigonométriques, ou de mesures barométriques, qui sont, lorsqu'on peut aborder les sommets, un procédé plus facilement applicable, mais moins satisfaisant, on se bornait à déterminer, pour des périodes de 25 ou de 50 années, la seule hauteur angulaire du sommet, d'un point toujours le même, et choisi de manière à ce qu'il puisse être facilement retrouvé, en poussant le calcul jusqu'à des fractions de secondes. Eu égard à l'effet de la réfraction terrestre, je conseillerais de chercher, à chacune des époques normales, une moyenne entre un grand nombre d'observations horaires, répétées durant trois jours. Pour n'avoir pas seulement le résultat général d'une augmentation ou d'une diminution dans la hauteur angulaire, mais pour obtenir aussi en [...]antité absolue du changement produit, il [...]léterminer une fois la distance. Quelle [...]'informations ne nous fourniraient pas, [...]sses volcaniques des Cordillères de [...]aux suffisamment exacts de Bouguer [...]nine, si ces hommes éminents avaient [...] sur quelques points, marquer d'une

manière fixe les stations d'où ils mesuraient les angles de hauteurs. D'après C. de Dittmar, le Kliutschewsk s'est reposé complétement, après l'éruption de 1841, jusqu'en 1843, où il a signalé son réveil en vomissant des laves. L'écroulement du sommet du Schiwelutsch a de nouveau interrompu cette période d'activité (2).

Je n'ai point cité, faute de déterminations assez précises, quatre autres volcans, dénommés, en partie par l'amiral Lutke, en partie par Postels. Ce sont l'Apalsk, au sud-est du village de Bolscheretski; la Schischapinskaja Sopka, par 55° 11′ de latitude; le cône de Krestowsk, par 56° 4′, près du groupe de Kliutschewsk, et l'Uschowsk. La chaîne centrale du Kamtschatka, particulièrement dans la plaine des Baidares, par 57° 20′ de latitude, à l'est de Sedanka, offre le spectacle d'éruptions de lave et de scories, s'échappant d'une roche volcanique, boursouflée, souvent d'un rouge de brique, qui elle-même est sortie des failles de la Terre. Ce remarquable phénomène, qui fait ressembler la plaine au sol d'un antique cratère, dont le diamètre n'aurait pas eu moins de quatre verstes ou d'une lieue, est très-éloigné de tout soulèvement de montagne conique (3). Il y a une analogie frappante entre cette contrée et le Malpais du plateau mexicain, vaste et mystérieux champ de débris rugueux, que j'ai décrit en détail (4).

V. ÎLES DE L'ASIE ORIENTALE.

Depuis le détroit de Torres, qui sépare la Nouvelle-Guinée de l'Australie, par 10° de latitude australe, et depuis les volcans fumeux de Flores, jusqu'aux plus septentrionales des îles Aleoutiennes, situées par 55° de latitude Nord, s'étend tout un monde d'îles, volcaniques pour la plupart, qui, dans la région du midi, gagnent considérablement en étendue, et considérées, d'un point de vue général, sont, en raison de leur connexité originaire, difficiles à classer en groupes distincts. Pour commencer par le Nord, nous voyons d'abord l'arc de cercle formé par les îles Aleoutiennes (5), qui partant de la presqu'île américaine d'Alaska, et rejoignant l'île Attou, voisine de l'île de Cuivre et de l'île de Behring, relient le nouveau continent à l'ancien, en même temps qu'elles ferment, au Sud, la mer de Behring. Au delà du cap Lopatka, pointe extrême de la presqu'île du Kamtschatka, se succèdent, dans la direction du Nord au Sud, l'archipel des îles Kouriles, qui bornent, à l'Est, la mer de Saghalin, ou mer d'Okhotsk, rendue célèbre par La Pérouse; Jézo, qui peut-être faisait autrefois partie de l'île Karafto, appelée aussi île Saghalin ou Tchoka (6), et par delà le détroit de Tsougar, les trois îles qui composent l'empire du Japon : Niphon, Sikok et Kiou-siou, comprises d'après l'excellente carte de Siebold, entre 41° 32′ et 30° 18′. Depuis le volcan Kliutschewsk, le plus

septentrional de ceux qui bordent la côte orientale du Kamtschatka, jusqu'à l'île volcanique d'Iwoga-sima, située à l'extrémité Sud du Japon, dans le détroit de Diémen, exploré par Krusenstern, l'activité volcanique de la Terre se manifeste à travers son écorce fendillée, en suivant régulièrement la direction du Nord-Est au Sud-Ouest. Cette direction se prolonge, par l'île Jakouno-sima, qui sépare les deux détroits de Van Diémen et de Colnet, et renferme une montagne conique, haute de 1780 mètres (5478 pieds); par l'archipel que Siebold a désigné sous le nom de Linschote; par l'île de Soufre du capitaine Basil Hall, autrement appelée Lung-Huang-Schan; par le petit groupe de Lieou-Khieou et celui de Madjikosima, qui s'approche jusqu'à la distance de 23 milles géographiques de la côte orientale de l'île Formose (Thaï-wan), située le long du rivage de la Chine.

L'île chinoise Formose, située entre 25° et 26° de latitude Nord, est le point où les lignes de soulèvement cessent de suivre la direction du Nord-Est au Sud-Ouest, pour prendre celle du Nord au Sud, qu'elles conservent jusque vers 5 ou 6° de latitude australe. Ces lignes de soulèvement sont faciles à reconnaître dans l'île Formose et dans les deux grandes Philippines, les îles de Luçon et de Mindanao, où, sur une étendue de près de 20 degrés, elles coupent, dans le sens du méridien, tantôt une seule côte, tantôt les deux côtes opposées. On les retrouve encore sur la côte orientale de la grande île

Bornéo, qui se rattache à l'île Mindanao par l'archipel Soulou, et à l'île Mindoro par l'étroite et longue île de Palawan; dans la partie occidentale des îles si richement articulées de Célèbes et de Gilolo ; enfin, ce qui est particulièrement digne de remarque, dans l'archipel volcanique et hérissé de coraux, des îles Mariannes ou îles des Larrons, soulevées sur une faille méridienne qui s'étend à 350 milles géographiques du groupe des Philippines et sous la même latitude, suivant une direction générale N. 10° O (7).

De même que nous avons marqué dans le parallèle de l'île Formose, riche en houillères, le point où la direction méridienne succède à la direction oblique des Kouriles, un nouveau système de failles commence au Sud de Célèbes et des côtes méridionales de Bornéo, coupée déjà par des chaînes de montagnes transversales. Les grandes et les petites îles de la Sonde, depuis Timor-laut jusqu'à l'extrémité occidentale de l'île Bali, suivent en général, durant l'espace de 18° degrés de longitude, la direction moyenne du 8e parallèle austral. Dans la partie occidentale de Java, l'axe décline déjà un peu plus vers le Nord, et va presque de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest. Depuis le détroit de la Sonde jusqu'à la plus septentrionale des îles Nicobar, la faille prend franchement la direction du Sud-Est au Nord-Ouest. L'ensemble du soulèvement volcanique qui court de l'Est à l'Ouest et du Sud-Est au Nord-Ouest a, d'après cela, une étendue de 675 milles géographiques environ, ce qui représente onze fois la longueur des

Pyrénées. Sur ce nombre, en ne tenant pas compte de la faible inclinaison de l'île de Java vers le Nord, 405 milles suivent la direction de l'Est à l'Ouest, et 270 celle du Sud-Est au Nord-Ouest.

Ainsi les considérations générales auxquelles donnent lieu la forme et la disposition des îles qui bordent les côtes orientales de l'Asie trouvent à s'appliquer sans interruption à travers cette immense contrée de l'Océanie, comprenant 68 degrés de latitude, depuis les îles Aleoutiennes et la mer de Behring, jusqu'aux Moluques et aux îles de la Sonde. C'est surtout dans la zone qui s'étend 5 degrés au nord et 10 degrés au sud de l'équateur que se déploient les formes les plus variées. La direction suivant laquelle ont été soulevées les grandes îles se reproduit, par une merveilleuse coïncidence, dans des groupes voisins, de moindre étendue. Ainsi, près des côtes méridionales de Sumatra, est située parallèlement une longue rangée d'îles. C'est le même phénomène qui se représente, en petit, dans les filons métalliques; en grand, dans les chaînes de montagnes qui traversent des continents tout entiers. Souvent des chaînes accompagnantes, démembrements de la chaîne principale, courent à de grandes distances les unes des autres. Elles témoignent des causes identiques qui les ont produites, et d'une direction commune, donnée aux rides de la Terre par l'activité volcanique. Le conflit des forces déchaînées à travers des failles ouvertes simultanément en sens inverse, paraît avoir produit quelquefois des configurations bizarres, rendues plus

remarquables par leur rapprochement; telles sont, parmi les Moluques, celles de Célèbes et de Gilolo.

Après avoir mis en lumière le lien étroit qui, géologiquement parlant, unit les systèmes insulaires de l'Est et du Sud de l'Asie, nous marquerons dans l'île Formose, par 24° de latitude boréale, la limite méridionale du système de l'Asie orientale, en d'autres termes le point où l'axe, abandonnant la direction du Nord-Est au Sud-Ouest, prend celle du Nord au Sud. Cette division et cette nomenclature géographique, bien qu'un peu arbitraires, sont consacrées par l'usage. Actuellement, nous allons revenir plus en détail sur les différents groupes énumérés ci-dessus, en commençant par les plus orientales des îles Aleoutiennes, qui tiennent plus, il est vrai, au continent de l'Amérique qu'à celui de l'Asie.

Les îles Aleoutiennes, riches en volcans, comprennent, en allant de l'Est à l'Ouest : les îles des Renards, parmi lesquelles se trouvent les îles les plus grandes de tout l'archipel : Ounimak, Ounalasckha et Oumnak; les îles Andrejanowski, dont les plus célèbres sont Atcha avec trois volcans fumeux, et le puissant volcan de Tanaga, dont Sauer a déjà donné l'image; les îles Rats et les îles Blynie, situées à quelque distance. A ce groupe, appartient l'île Attou, qui, ainsi que je l'ai dit plus haut, rattache les îles Aleoutiennes au groupe du Commandeur, c'est-à-dire aux îles de Cuivre et de Behring, voisines des côtes de l'Asie. L'assertion souvent répétée, que les chaînes vol-

caniques dirigées du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest commencent, dans la presqu'île du Kamtschatka, à l'endroit où la faille au-dessus de laquelle sont soulevées les îles Aleoutiennes forme une intersection sous-marine avec la presqu'île à laquelle elle semble préparer la voie, paraît avoir peu de fondement. D'après la carte de la mer de Behring, due à l'amiral Lutke, l'île Attou, extrémité occidentale de l'arc décrit par les îles Aleoutiennes, est située sous le parallèle de 52° 46'. L'île de Cuivre et l'île Behring, dépourvues de volcans l'une et l'autre, s'étendent entre 54° 30' et 55° 20', et la chaîne volcanique du Kamtschatka a déjà pris naissance sous le parallèle de 56° 40', avec le grand volcan de Schiwelutsch, à l'ouest du cap Stolbowoy. La direction des failles éruptives est aussi très-différente et presque opposée. C'est dans l'île d'Ounimak que s'élève le plus haut volcan des îles Aleoutiennes; il a, d'après Lutke, 7 578 pieds. Près de l'extrémité septentrionale d'Oumnak, l'île d'Agaschagokh ou de *Sanctus theologus Johannes*, qui est restée près de huit ans allumée, a été soulevée au-dessus de la mer, dans le mois de mai 1796, avec des circonstances très-remarquables, fort bien décrites dans le Voyage de découverte de Kotzebue (8). D'après une relation de Krusenstern, le périmètre de cette île était de 4 milles géographiques, et elle avait encore 2100 pieds de hauteur. C'est surtout dans l'île d'Ounalaschka, qu'un savant, familier avec l'état actuel de la géologie, et capable d'analyser sûrement la composi-

tion des roches, pourrait étudier les rapports signalés par l'ingénieux Chamisso, entre le trachyte riche en hornblende du volcan Matouschkin, haut de 5136 pieds, ce que l'on croit être du porphyre noir, et le granite, voisin du porphyre. L'île Saint-Paul, l'une des deux îles qui composent le groupe Pribytow, situé isolément dans la mer de Behring, est volcanique à un haut degré; la lave et la pierre ponce y abondent. Au contraire l'île Saint-Georges ne contient que du granite et du gneiss.

D'après le recensement le plus complet que nous possédions jusqu'ici, les 240 milles géographiques, sur lesquels s'étend la longue file des îles Aleoutiennes, paraissent renfermer plus de 34 volcans, ayant donné des preuves de leur activité à des époques relativement récentes. Ainsi, de 54 à 60° de latitude et de 162 à 198° de longitude occidentale, le sol de la mer forme, entre deux grands continents, une saillie dont l'énergie volcanique s'exerce incessamment à créer ou à détruire. Combien d'îles, dans la suite des siècles, ont disparu aussitôt après leur apparition au-dessus de la surface de la mer, comme le groupe des Açores en a donné un exemple! Combien d'autres, soulevées depuis longtemps au-dessus des flots, se sont évanouies en totalité ou en partie, sans que nul les ait observées! La longue file des îles Aleoutiennes offre, pour le mélange des peuples et les migrations des races, une route de 13 à 14 degrés plus méridionale que le détroit de Behring; c'est cette route que paraissent avoir traversée les Tchouktchi,

lorsqu'ils émigrèrent d'Amérique en Asie, et s'avancèrent au delà du fleuve Anadir.

L'archipel des Kouriles, depuis l'extrémité du Kamtschatka jusqu'au cap Broughton, situé à la pointe Nord-Est de l'île Jezo, présente, sur une longueur de 180 milles géographiques, 8 ou 10 volcans, dont la plupart sont encore actifs. Le plus septentrional, situé dans l'île Alaid, et célèbre par les grandes éruptions de 1770 et de 1793, mériterait bien d'être mesuré enfin avec exactitude, puisqu'on évalue sa hauteur à douze ou quatorze mille pieds. L'île Mataua, à laquelle appartient le pic Sarytschew, beaucoup moins élevé, et qui n'a, suivant Horner, que 4227 pieds, a fait preuve aussi d'une grande énergie volcanique, de même que les Kouriles japonaises : Ouroup, Itoroup et Kounachir.

Après les Kouriles, vient l'île Jezo et les trois grandes îles du Japon, sur lesquelles un célèbre voyageur, M. de Siébold, a mis fort obligeamment à ma disposition un grand et important travail, qui me permet de rectifier ce que j'ai pu avancer d'inexact dans mes *Fragments de Géologie et de Climatologie asiatiques*, et dans l'*Asie centrale*, sur la foi de l'*Encyclopédie japonaise* (9).

La grande île Jezo, située entre 41°30′ et 45°30′ de latitude, de forme très-rectangulaire dans sa partie septentrionale, et séparée de l'île Niphon par le détroit de Sangar ou Tsougar, de l'île Karafto (Karafou-to) par le détroit de La Pérouse, ferme avec son cap Nord-Est l'archipel des Kouriles. Mais à peu de dis-

tance du cap Romanzow, qui forme l'extrémité Nord-Ouest de l'île, et s'avance un degré et demi de plus vers le Nord dans le détroit de La Pérouse, est située, par 45° 11', une montagne volcanique, appartenant à la petite île Risiri, le pic de Langle, haut de 5 020 pieds. Jezo elle-même paraît être traversée par une chaîne volcanique, depuis la baie de Broughton jusque vers le cap Nord; fait d'autant plus remarquable que, dans l'île étroite de Krafto, qui n'est autre que le prolongement de Jezo, les naturalistes attachés à l'expédition de La Pérouse ont trouvé la baie de Castries jonchée de laves rouges poreuses et de scories. Siebold compte, dans l'île Jezo, dix-sept montagnes coniques, qui pour la plupart paraissent être des volcans éteints. Le Kiaka, nommé par les Japonais Ousouga-take, c'est-à-dire Montagne du Mortier, à cause de la dépression profonde du cratère, paraît être encore enflammé, ainsi que le Kajo-hori; du moins le Commodore Perry a vu, de la baie des Volcans, deux montagnes volcaniques situées près du port Endermo, par 42° 17' de latitude. La haute montagne de Manye, désignée par Krusenstern sous le nom de Pallas, est située au milieu de l'île Jezo, par 44° de latitude environ, un peu à l'est-nord-est de la baie Strogonow.

Les historiens du Japon ne mentionnent que six volcans actifs, soit avant, soit après l'ère chrétienne : deux dans l'île Niphon et quatre dans l'île Kiou-Siou. Les volcans de l'île Kiou-Siou, la plus rapprochée de la presqu'île de Corée, sont, en remontant du Sud

au Nord, le volcan Mitake, qui s'élève sur l'îlot de Sayoura-sima, dans la baie de Kagosima, ouverte au midi, et fait partie de la province de Satsouma (lat. 31° 33′, longit. 128° 21′); le volcan Kiori-sima, dans le district Naka, de la province Fouga (lat. 31° 45′); le volcan Aso-jama, dans le district Aso, de la province Figo (lat. 32° 45′); le volcan Wunzen, dans la presqu'île Simabara et dans le district Takakou (lat. 32° 45′). D'après une mesure barométrique, le Wunzen n'a pas plus de 1 253 mètres ou 3 856 pieds; il dépasse de cent pieds à peine le point culminant du Vésuve, la Rocca del Palo. La plus violente des éruptions du Wunzen, dont l'histoire ait conservé le souvenir, est celle du mois de février 1793. Wunzen et Aso-jama sont situés tous deux à l'est-sud-est de Nangasaki.

Le plus septentrional des volcans de la grande île Niphon est le volcan Fousi-jama, situé à quatre milles géographiques tout au plus de la côte méridionale, dans la province Sourouga et le district Fousi (latit. 35° 18′, longit. 136° 15′). La hauteur de ce volcan, mesurée, comme celle du Wunzen, par de jeunes Japonais, élèves de Siebold, atteint 3 793 mètres, ou 11 675 pieds; il est ainsi de près de 300 pieds plus haut que le pic de Ténériffe, avec lequel Kæmpfer l'a déjà comparé (10). Le soulèvement de cette montagne conique, rapporté à la cinquième année du règne de Mikado VI (286 ans avant notre ère), est décrit en ces termes, remarquables au point de vue géologique : « Une vaste étendue de terrain s'abaisse

dans la contrée d'Omi; un lac se forme, et le volcan Fousi apparaît. » Les éruptions les plus caractéristiques qui se soient produites à partir de l'ère chrétienne sont celles des années 799, 800, 863, 937, 1032, 1083 et 1707. Depuis cette dernière époque, le volcan se repose. Plus au Nord est l'Asama-jama, le plus central des volcans actifs reculés à l'intérieur du pays. L'Asama-Jama, situé dans le district Sakou de la province Sinano, par 36° 22′ de latitude, 136° 18′ de longitude, c'est-à-dire entre les méridiens des deux villes principales Mijako et Jedo, est à 20 milles géographiques de la côte Sud-Sud-Est, à 13 milles de la côte Nord-Nord-Ouest. En 864, l'Asama-jama eut une éruption en même temps que le Fousi-jama. Celle du mois de juillet 1783 fut plus violente et plus funeste qu'aucune autre. Depuis, l'activité de l'Asama-jama ne s'est point interrompue.

Outre ces volcans, les navigateurs européens ont observé encore deux petites îles avec des cratères fumants : la première est l'île d'Iwoga-sima ou Iwo-sima, c'est-à-dire l'île de Soufre; *sima* signifie île et *iwo* soufre; *ga* est simplement un affixe du nominatif. Krusenstern l'appelle l'île du Volcan. Iwo-sima, située au sud de Kiou-siou, dans le détroit de Diémen, par 30° 43′ de latitude boréale et 127° 58′ de longitude occidentale, n'est pas à plus de 54 milles anglais du volcan de Mitake; sa hauteur est de 2 220 pieds (715 mètres). Linschoten en fait déjà mention en 1596. « L'île Iwo-sima, dit-il, renferme un volcan qui est une montagne de

soufre ou de feu. » Cette île est indiquée aussi dans les plus anciennes cartes marines des Hollandais, sous le nom de *Vulcanus* (11). Krusenstern l'a vu fumer, en 1804. Le même spectacle s'est offert au capitaine Blake, en 1838; à Guérin et à de la Roche Poncié, en 1846. D'après ce dernier navigateur, la hauteur du cône est de 2 218 pieds (715 mètres). Cet îlot de rocher, mentionné comme un volcan par Landgrebe, dans son *Histoire naturelle des volcans*, d'après le témoignage de Kæmpfer (12), qui le place près de Firato ou Firando, est incontestablement Iwo-sima; car le groupe auquel Iwo-sima appartient s'appelle Kiousiou-kou-sima, ce qui signifie les 9 îles de Kiousiou, et non les 99 îles, comme on l'a dit; il n'existe pas de semblable archipel près de Firato, au nord de Nagasaki, ni dans aucune autre partie du Japon. Enfin, en quatrième lieu, vient l'île Ohosima ou île de Barneveld (l'île de Vries de Krusenstern); elle fait partie de la province Idsou, dans l'île Niphon, et est située devant la baie de Wodawara, par 34° 42′ de latitude boréale et 137° 4′ de longitude orientale. Broughton a vu, en 1797, de la fumée sortir du cratère; une éruption très-considérable avait eu lieu peu de temps auparavant. Ohosima est le point de départ d'une rangée d'îlots, groupés dans la direction du Sud jusqu'à Fatri-sjo, par 33° 6′ de latitude Nord, dont l'axe se prolonge jusqu'aux îles Bonin, situées elles-mêmes par 26° 30′ de latitude Nord, et 139° 45′ de longitude Est. Ces îles, d'après A. Postels, sont aussi

volcaniques, et ont été ébranlées par de violents tremblements de Terre (13).

Tels sont les huit volcans ayant donné, dans les temps historiques, des témoignages de leur activité, qui appartiennent au Japon proprement dit, c'est-à-dire qui sont situés dans les îles Kiou-siou et Niphon, ou dans le voisinage de ces îles. En dehors de ces volcans, on peut encore citer une file de montagnes coniques, dont quelques-unes, caractérisées d'une manière manifeste par des cratères creusés à une grande profondeur, paraissent être des volcans depuis longtemps éteints. C'est le cas du cône Kaimon, le pic Horner de Krusenstern, situé dans la partie la plus méridionale de l'île Kiou-siou, dans la province Satsoum, sur la côte du détroit de Diémen (latit. 31° 9'). Six milles géographiques à peine séparent cette montagne du volcan actif de Mitake, qui s'élève au Nord-Nord-Est. Tel est encore, dans l'île de Sikok, le Kofousi ou petit Fousi, situé dans l'îlot de Koutsouna-sima, de la province d'Ijo, par 33° 45', sur la côte orientale du grand détroit Souwo-Nada ou *Van der Capellen*, qui sépare les trois grandes parties de l'empire japonais : Kiou-siou, Sikok et Niphon. La plus considérable de ces îles, Niphon, renferme neuf cônes, vraisemblablement trachytiques, qui suivent la direction du Sud-Ouest au Nord-Est, et dont les plus remarquables sont : Sira-jama, ou la Montagne Blanche, dans la province Kaga, par 36° 5', qui, ainsi que le Tsjo-kaisan de la province Dewa (lat. 39° 10'), est considéré comme

dépassant le Fousi-jama, plus méridional, qui s'élève déjà à plus de 11 600 pieds. Entre le Sira-jama et le Tsjo-kaisan, est situé, dans la province Jetsigo, par 36° 53', le Jaki-jama, ou Montagne des Flammes. Les deux montagnes coniques les plus septentrionales qui s'élèvent sur les bords du détroit de Tsougar, en face de la grande île Jezo, sont : l'Iwaki-jama, par 40° 42' de latitude, le pic Tilésius de Krusenstern, à qui ses études sur la géographie du Japon ont créé un titre immortel à la reconnaissance des savants; et le Jake-jama, ou Montagne brûlante, situé par 41° 20', à la pointe Nord-Est de Niphon, dans la province de Nambou. Cette montagne a vomi des flammes depuis les temps les plus reculés.

Malgré l'analogie de configuration entre la presqu'île du Kamtschatka et celle de Corée, Corea ou Corai, qui, sous les parallèles de 34° et de 34° 30', se relie presque avec l'île de Kiou-siou, par les îles de Tsou-sima et d'Iki, on n'a découvert jusqu'ici aucun volcan dans la partie continentale de cette presqu'île. L'activité volcanique de la contrée paraît s'être circonscrite dans les îles voisines. Ainsi, en 1007, on vit surgir du fond de la mer le volcan Tsinmoura que les Chinois appellent Tanlo. Un savant, Tien-kong-tschi, fut envoyé pour décrire le phénomène, et en tracer l'image (14). C'est surtout dans l'île Sehe-soure (le *Quelpaerts* des Hollandais), que les montagnes affectent partout une forme conique. D'après La Pérouse et Broughton, la montagne centrale atteint une hauteur de 6 000 pieds. Combien d'élé-

ments volcaniques ne restent pas à découvrir dans cet archipel occidental, dont le chef, qui est en même temps roi de la presqu'île de Corée, s'intitule souverain de 10 000 îles.

Du pic Horner (Kaimon-ga-take), situé sur la côte Sud-Ouest de l'île Kiou-siou, dans le royaume insulaire du Japon, part un arc de cercle décrit par une rangée de petites îles volcaniques dont l'ouverture est tournée vers l'Ouest et qui renferme : entre les détroits de Diémen et de Colnett, Jakounosima et Tanega-sima ; au sud du détroit de Colnett, dans le groupe des Linschoten de Siebold (l'archipel Cécille du capitaine Guérin), qui s'étend jusqu'au 29e parallèle, l'île Souwase-sima (l'île du Volcan du capitaine Becher), située par 29° 39′ de latitude, 127° 21′ de longitude, et qui s'élève, d'après de la Roche Poncié, à 2 630 pieds ou 855 mètres de hauteur(15); puis l'île de Soufre de Basil-Hall (Sulphur-Island), appelée Tori-sima ou île des Oiseaux par les Japonais, Loung-Hoang-schan, par le Père Gaubil, et située par 27° 51′ de latitude, 125° 54′ de longitude, d'après les mesures astronomiques du capitaine de la Roche Poncié (1848.) Comme cette île porte aussi le nom d'Iwo-sima, il faut prendre garde de la confondre avec son homonyme, située plus au Nord, dans le détroit de Diémen. L'île de Soufre a été fort bien décrite par Basil Hall. En s'avançant vers le Sud, entre le 26e et le 27e parallèle, on rencontre le groupe de Lieou-khieou ou Lew-Chew, appelé Loo-Choo par les indigènes,

dont Klaproth a publié une carte spéciale, dès l'année 1824. Enfin, vers le Sud-Ouest, se trouve le petit archipel de Madschiko-sima, qui s'étend jusqu'à la grande île Formose, et que je considérerai comme l'extrémité des îles de l'Asie orientale. Près de la côte orientale de Formose, par 24° de latitude, le lieutenant Boyle a observé, en mer, une grande éruption volcanique, au mois d'octobre 1853. Dans les îles Bonin, appelées Bouna-sima par les Japonais et situées entre 26° 30′ et 27° 45′ de latitude, sous le méridien de 139° 55′, l'île de Peel possède plusieurs cratères, entourés d'une grande quantité de soufre et de scories, qui paraissent éteints depuis peu de temps (16).

VI. ÎLES DE L'ASIE MÉRIDIONALE.

Nous comprenons sous cette dénomination l'île Formose (Thaï-wan), les Philippines, les îles de la Sonde et les Moluques. Klaproth, nous a fait connaître, le premier, les volcans de Formose, d'après les sources chinoises, toujours si abondantes en descriptions minutieuses de la nature (17). Formose contient quatre volcans, parmi lesquels le Tschy-kang, ou Montagne Rouge, qui a eu de grandes éruptions enflammées, et sur lequel existe un cratère-lac rempli d'eaux brûlantes. Les petites îles Baschi et les Babuyanes, qui, suivant le témoignage de Meyen, ont donné encore en 1831 le spectacle d'une violente éruption de flammes, établissent une liaison

entre Formose et les îles Philippines, dont les plus petites et les plus profondément échancrées sont les plus riches en volcans. Léopold de Buch compte 19 montagnes coniques d'une hauteur considérable, nommées dans le pays *Volcanes*, mais dont une partie n'est vraisemblablement composée que de dômes trachytiques fermés. Dana pense qu'il ne reste plus, dans la région méridionale de l'île Luzon, que deux volcans encore enflammés : le Taal, qui s'élève dans la *laguna de Bongbong*, et porte à son faîte un cirque qui lui-même enferme une autre lagune (18); et dans la partie Sud de la presqu'île Camarines, le volcan Albay ou Mayon, nommé par les indigènes Isaroe. L'Albay, haut de 3 000 pieds, a eu de grandes éruptions en 1800 et 1814. Dans la partie septentrionale de Luzon, on rencontre du granite en abondance, du schiste micacé, et même des formations sédimentaires et de la houille (19).

La longue file des îles Soulou ou Solo, qui contient cent îles pour le moins, et rattache Mindanao à Bornéo, est en partie sillonnée par des récifs de coraux, en partie volcanique; mais il ne faut pas oublier que les pics isolés, trachytiques et en forme de cônes, sont souvent appelés *Volcanes* par les Espagnols, bien qu'ils soient fermés au sommet.

Si, prenant pour guide le grand travail du docteur Junghuhn, on fait un dénombrement exact de tous les éléments volcaniques compris à partir de l'extrémité méridionale des Philippines ou du 5e degré de latitude boréale, entre le méridien des îles Nicobares

et celui qui traverse la côte occidentale de la Nouvelle-Guinée, c'est-à-dire dans l'espace occupé par les grandes et les petites îles de la Sonde et par les Moluques, on trouve que, dans cette guirlande d'îles qui entourent l'île presque continentale de Bornéo, il existe 109 montagnes ignivomes, et 10 volcans de boue; et ce n'est pas là une évaluation approximative, c'est le résultat d'un calcul rigoureux.

On ne sait jusqu'à ce jour à quoi s'en tenir sur l'existence de volcans actifs dans l'île Bornéo, la *Giava Maggiore* de Marco Polo (20). Il est vrai que l'on ne connaît encore que des zones étroites du littoral. Au Nord-Ouest, on n'a exploré que la contrée qui s'étend jusqu'à la petite île côtière de Labouan et au cap Balambangan; à l'Ouest, on a visité l'embouchure du Pontianak, et à l'extrémité Sud-Est, le district Banjermas-sing, où l'on était attiré par des lavages d'or, de diamant et de platine. On ne croit pas que la plus haute montagne de Bornéo et peut-être de toute la région insulaire qui se déploie au Sud de l'Asie, le Kina-Bailou, dont le double faîte s'élève près de la pointe septentrionale de l'île, à 8 milles géographiques seulement de la côte des Pirates, doive être considérée comme un volcan. Le capitaine Belcher évalue la hauteur du Kina-Bailou à 12 850 pieds; c'est 4 000 pieds de plus que le Gunung Pasaman (Ophir), de Sumatra, (21). D'autre part, Rajah Brooke cite, dans la province Sarawak, une montagne beaucoup moins haute, dont le nom malais, Gunung Api, c'est-à-dire Montagne de Feu, témoigne,

ainsi que les scories éparses à l'entour, qu'elle fut autrefois un volcan actif. De grands dépôts de poudre d'or, compris entre des fragments de filons de quartz, les lavages d'étain que l'on rencontre sur les deux rives opposées des fleuves, et le porphyre riche en feldspath des montagnes de Sarambo indiquent une extension considérable de ce que l'on est convenu d'appeler roches primitives et roches de transition (22). D'après les indications du docteur Louis Horner, fils du savant astronome de Zurich, les seules émanant d'un géologue auxquelles nous puissions ajouter foi, plusieurs lavages, exploités avec succès dans la partie Sud-Est de Bornéo, présentent aussi, comme dans l'Oural sibérien, de l'or, des diamants, du platine, de l'osmium et de l'iridium; jusqu'à ce jour cependant, on n'a point trouvé de palladium. Très-près de là, dans la chaîne des Ratouhs, haute de 3 200 pieds, il existe des formations de serpentine, de gabbro et de syénite (23).

Des trois autres grandes îles de la Sonde, Sumatra, Java et Célèbes, la première possède d'après Junghuhn, six ou sept volcans encore en activité; Java en renferme de vingt à vingt-trois, Célèbes en contient onze; on en compte six dans l'île moins considérable de Flores. Nous avons déjà traité en détail des volcans de l'île Java (24). Dans l'île de Sumatra, qui n'a point encore été explorée en entier, parmi dix-neuf montagnes en forme de cône et d'apparence volcanique, six ont conservé certainement leur activité (25) ; ce

sont le Gunung-Indrapoura, qui s'élève à 11 500 pieds environ, d'après des hauteurs angulaires prises sur l'Océan, ce qui suppose une altitude égale à celle du Semerou ou Maha-Merou de Java, dont on possède des mesures plus exactes; le Gunung-Pasaman, nommé aussi Ophir, dont le docteur L. Horner a fait l'ascension, qui a 9 010 pieds de haut et un cratère presque éteint; le Gunung-Salasi riche en soufre, qui a rejeté des scories en 1833 et 1845; le Gunung-Merapi, le plus actif de tous les volcans de Sumatra, haut de 8 980 pieds, dont le docteur Louis Horner a gravi aussi la cime en 1834, avec le docteur Korthals. Ce volcan, qu'il ne faut pas confondre avec deux autres du même nom, appartenant à l'ile Java (26); le Gunung-Ipou, montagne fumante, qui a la forme d'un cône tronqué; enfin, dans le district intérieur de Benkoulen, le Gunung-Dempo, dont on évalue la hauteur à 10 000 pieds.

Quatre îlots composés de cônes trachytiques, dont les plus élevés sont le pic Rekata et le Panahitam, dans l'île des Princes, relient la chaîne volcanique de Sumatra à la file serrée des volcans javanais; de même, à l'extrémité opposée, Java et son volcan d'Idjen se rattachent à la longue chaîne des petites îles de la Sonde, par le Gunung-Batour et le Gunung-Agung, volcans actifs de l'île Bali. Puis viennent, à l'est de Bali : la montagne fumante de Rindjani, située dans l'île Lombok, qui, d'après la mesure trigonométrique de M. Melville de Carnbée, atteint 11 600 pieds; et le Temboro, dans l'île Soumbawa ou Sambawa,

qui en a 5500. Au mois d'avril 1815, l'atmosphère fut obscurcie autour du Sambawa par une éruption de cendres et de ponce, l'une des plus considérables dont l'histoire ait gardé le souvenir (27). L'île Flores contient six volcans dont plusieurs rejettent encore de la fumée.

La grande île Célèbes, qui étend ses longs bras de tous côtés, renferme aussi des volcans dont quelques-uns sont encore actifs. Tous se trouvent réunis dans l'étroite presqu'île de Menado, qui forme la partie Nord-Est de l'île. Près de ces volcans, jaillissent des sources sulfureuses bouillantes. C'est dans une de ces sources, située sur le chemin de Sonder à Lamovang, qu'est tombé un infatigable voyageur, libre observateur de la nature, mon ami le comte piémontais Carlo Vidua, dont les brûlures ont déterminé la mort. De même que, dans les Moluques, la petite île Banda est uniquement formée du volcan Gunung-Api, haut à peine de 1 700 pieds, dont l'activité s'est entretenue de 1586 à 1824, l'île Ternate, bien que plus grande, ne se compose aussi que d'une montagne conique, haute de 5 400 pieds, le Gunung-Gama-Lama, dont les violentes éruptions, se sont succédé de 1838 à 1849, après un repos complet de plus de cent cinquante ans, et ont été décrites à des époques très-différentes. D'après Junghuhn, dans l'éruption du 3 février 1840, une coulée de lave s'est fait jour à travers une faille, près du fort Toluko, et a poursuivi son cours jusqu'au rivage (28), « soit que la lave fût formée d'une masse cohérente et

entièrement liquéfiée, ou de fragments enflammés, précipités à travers la plaine par la pression des masses qui les suivaient ». Si aux montagnes coniques que nous avons citées en raison de leur importance on joint les nombreux et très-petits îlots volcaniques qui ne comportent point d'être mentionnés ici, on trouve que le nombre de toutes les montagnes ignivomes, situées au sud du parallèle du cap Serangani, dans l'île de Mindanao, l'une des Philippines, entre le méridien du cap Nord-Ouest de la Nouvelle-Guinée, et celui qui traverse les groupes des îles Nicobar et Andaman, ne s'élève pas, ainsi qu'on l'a déjà remarqué plus haut, à moins de 109 (29). Dans ce nombre figurent, pour l'île de Java, 45 volcans, la plupart coniques et pourvus de cratères; mais sur ces 45 volcans, il n'y en a que 21, et sur la somme totale de 109, il n'y en a pas plus de 42 ou 45, dont on puisse affirmer qu'ils ont donné de nos jours ou même dans les temps historiques des témoignages d'activité. Le puissant pic de Timor servait autrefois de phare aux navigateurs, comme Stromboli. Dans la petite île deP oulou-Batou, nommée aussi Poulou-Komba, un peu au nord de Flores, on a vu, en 1850, un volcan rejeter des laves enflammées jusque sur le bord de la mer. Déjà en 1812, le Pic de l'île Sangir, plus étendue que Poulou-Batou, et située entre Magindanao et Célèbes, avait offert le même spectacle, qui s'est renouvelé tout récemment, au printemps de 1856. Junghuhn doute que le célèbre cône Wawan ou Ateti, dans l'île d'Amboine, ait rejeté, en 1674,

autre chose que des laves ardentes, et actuellement il range l'île parmi les solfatares. Le vaste groupe des îles de l'Asie méridionale se rattache, par la partie occidentale des îles de la Sonde, aux îles Nicobar et Andaman de l'océan Indien; par les Moluques et les Philippines, aux îles Papouas, aux îles Pelew et aux Carolines de la mer du Sud. Nous examinerons d'abord les groupes moins nombreux et plus clair-semés de l'océan Indien.

VII. ÎLES DE L'OCÉAN INDIEN.

Sous le nom d'océan Indien, on désigne l'espace compris entre les côtes occidentales de la presqu'île Malacca ou des Birmans et les côtes orientales de l'Afrique. Cette mer comprend par conséquent, dans sa partie septentrionale, le golfe du Bengale, le golfe Arabique et la mer d'Éthiopie. Nous suivrons l'activité volcanique de l'océan Indien, en allant du Nord-Est au Sud-Ouest.

Barren Island, l'île Déserte, située dans le golfe du Bengale, un peu à l'est de la grande île d'Andaman, par 12° 15′ de latitude, peut être a bon droit citée comme un cône d'éruption actif. Le cône s'élève au milieu d'un cratère de soulèvement. La mer pénètre par une étroite ouverture, et remplit un bassin intérieur. Cet îlot, découvert en 1791 par Horsbourgh, offre un spectacle extrêmement instructif, pour la théorie de la formation des échafaudages volcaniques. On y voit, à l'état complet et perma-

nent, ce que, dans l'île Santorin et sur d'autres points du globe, la nature ne présente que passagèrement (30). Au mois de novembre 1803, les éruptions étaient très-régulièrement périodiques, comme celle du Sangay, dans les Cordillères de Quito; les intervalles étaient de dix minutes (31).

L'île Narcondam, par 13° 24′ de latitude, au nord de *Barren-Island*, a manifesté aussi jadis son activité volcanique, ainsi que le cône de l'île Chedouba, plus septentrionale encore et située près de la côte d'Arracan, par 10° 52′ (32).

A en juger par l'accumulation des coulées de lave, le volcan le plus actif, non-seulement de l'océan Indien, mais on peut presque dire de tout l'hémisphère austral, compris entre les méridiens des côtes occidentales de la Nouvelle-Hollande et des côtes orientales de l'Amérique, est le volcan de l'île Bourbon, dans le groupe des Mascareignes. La plus grande partie de la contrée, celle surtout qui s'étend à l'Ouest et à l'intérieur de l'île, est basaltique. Des filons de basalte plus récents et pauvres en olivine traversent la roche plus ancienne, où au contraire l'olivine abonde. Des couches de lignite sont enfermées aussi dans le basalte. Les points culminants de l'île sont le Gros Morne et les trois Salazes, dont Lacaille évaluait la hauteur à 10 000 pieds. Actuellement l'activité volcanique est concentrée dans la partie Sud-Est, appelée le Grand Pays brûlé. Suivant le témoignage d'Hubert, le volcan de Bourbon déverse presque chaque année deux coulées de lave, qui souvent vont rejoindre la

mer. Le faîte de la montagne a, d'après les mesures de Berth, 7 507 pieds de hauteur (33). Il présente plusieurs cônes qui portent des noms particuliers, et entrent en éruption à tour de rôle. Les éruptions sont rares au sommet. Les laves contiennent du feldspath vitreux, et sont par conséquent plus trachytiques que basaltiques. Les pluies de cendres présentent souvent de l'olivine en fils longs et déliés, phénomène qui se représente dans le volcan d'Owaihi. Une forte éruption de ces fils vitreux s'est produite en 1821, et a couvert toute la surface de l'île Bourbon.

Près de là, est située la grande *Terra incognita* de Madagascar, dont on ne sa t que deux choses : l'existence d'un vaste dépôt de pierre ponce près de Tintingue, vis-à-vis de l'île française de Sainte-Marie, et la présence du basalte au milieu du granite et du gneiss, au sud de la baie de Diego Suarez, près du cap d'Ambre, situé à l'extrémité septentrionale de l'île. La partie méridionale de la croupe centrale des monts Ambostimenes a, dit-on, une hauteur de 10 000 pieds, mais cette appréciation est fort incertaine. A l'ouest de Madagascar, à l'extrémité du canal de Mozambique, la plus grande des îles Comores renferme un volcan enflammé (34).

La petite île volcanique de Saint-Paul, située au sud de l'île d'Amsterdam, par 38° 38′, est réputée volcanique, non pas seulement à cause de sa configuration, qui rappelle par des traits caractéristiques celles de Santorin, de *Barren Island*, et de *Déception*

Island dans le groupe du Schetland austral, mais aussi à cause d'éruptions de flammes et de vapeurs plusieurs fois observées depuis les temps modernes. Le dessin très-pittoresque que Valentyn en a donné dans son ouvrage sur les îles Banda, à l'occasion de l'expédition de Willem de Vlaming (novembre 1696), s'accorde parfaitement, ainsi que la détermination des latitudes, avec les représentations graphiques contenues dans l'Atlas de l'expédition de lord Macartney, et avec le relevé du capitaine Blackwood (1842). La baie, arrondie en forme de cratère et large d'un mille anglais environ, est entourée de toute part de rochers taillés à pic intérieurement, à l'exception d'une étroite ouverture qui livre passage à la marée montante. Les rochers qui forment les bords du cratère s'abaissent par une pente peu sensible, presque jusqu'au niveau de l'île (35).

L'île d'Amsterdam, située 50 minutes plus au Nord (37° 48′), consiste, d'après les dessins de Valentyn, en une montagne détachée, très-boisée et un peu arrondie, dont la croupe la plus haute supporte un petit rocher cubique, à peu près comme le Cofre de Perote, sur le plateau mexicain. Lors de l'expédition de d'Entrecasteaux (mars 1792), l'île a été vue pendant deux jours enveloppée de flammes et de fumée. L'odeur de la fumée faisait croire à l'incendie d'une forêt et à un embrasement souterrain. Il semblait même que, près de la côte, l'on voyait sortir çà et là du sol des colonnes de vapeur. Cependant les savants attachés à l'expédition furent en définitive d'avis que ce

mystérieux phénomène ne devait pas être rapporté à l'activité volcanique de la montagne (36). Il est plus sûr de remonter plus haut, et de citer comme témoignage de l'énergie volcanique, dans l'île d'Amsterdam, les couches de pierre ponce que Valentyn mentionne déjà, d'après le journal de bord de Vlaming, à la date de 1696.

Au sud-est de l'extrémité de l'Afrique sont situées l'île de Marion ou du prince Édouard (lat. 47° 2') et *Possession Island* (lat. 46° 28', longit. 49° 36'), qui font partie du groupe Crozet. Toutes deux portent, comme traces d'une activité volcanique épuisée, de petites montagnes en forme de cônes, avec des cratères d'éruption entourés de colonnades basaltiques (37).

Plus à l'Est, presque sous la même latitude, on rencontre l'île de Kerguelen, l'*Island of desolation* du capitaine Cook, dont nous devons encore la première description géologique à l'heureuse et féconde expédition de lord James Ross. Au lieu nommé par Cook Christmas Harbour, (lat. 48° 41', longit. 66° 42'), des troncs d'arbres fossiles, larges de plusieurs pieds, sont engagés dans des laves basaltiques. On admire au même endroit le pittoresque *Arched Rock*, qui forme un passage naturel dans une étroite muraille de basalte. Près de là se trouvent des montagnes coniques, avec des cratères éteints, dont les plus hautes atteignent 2 500 pieds, des masses de grunstein et de porphyre traversées par des filons de basalte, et près de *Cumberland Bay*

du mandelstein avec des druses de quartz. Ce qu'il y a de plus remarquable, ce sont de nombreuses couches de charbon couvertes de rochers de trapp, peut-être de dolérite, comme à Meissner dans le duché de Hesse, et qui, partant d'une épaisseur de quelques pouces, atteignent une puissance de quatre pieds (38).

Si l'on jette un coup d'œil général sur les îles de l'océan Indien, on voit la longue file des îles de la Sonde, après avoir fléchi vers le Nord-Ouest, à la naissance de l'île de Sumatra, se prolonger par les Nicobar, et par les grandes et les petites Andamans, en même temps que les volcans de Barren Island, Narcondam et Cheduba courent presque parallèlement aux côtes de Malacca et de Tanasserim, et pénètrent dans la partie orientale du golfe du Bengale. Il n'y a pas d'îles dans la partie occidentale du golfe qui s'étend le long des côtes d'Orissa et de Coromandel; car Ceylan, comme Madagascar, a un caractère plutôt continental qu'insulaire. En face du rivage qui borde, à l'Ouest, la presqu'île en deçà du Gange, la longue rangée que forment, du Nord au Sud, depuis 14° de latitude boréale jusqu'à 80° de latitude australe, les trois archipels des Lakedives, des Maldives et des Chagos, se rattachent, par les bancs de Sahia, de Malha et de Cargados Carajos, au groupe volcanique des Mascareignes et à Madagascar. Ces bancs, autant que l'on en peut juger, sont formés d'édifices construits par des polypes madréporiques, et de véritables atolles ou rochers de

coraux enfermant des lagunes. Ils confirment l'ingénieuse conjecture de Darwin, d'après laquelle une vaste étendue du lit de la mer serait, dans ces parages, non pas une surface de soulèvement, mais bien une surface de dépression (area of subsidence).

VIII. MER DU SUD.

Si l'on compare la partie de la surface terrestre, actuellement couverte par les eaux et l'aire de l'élément solide, que l'on sait être à peu près dans le rapport de 2,7 à 1 (39), on ne peut voir, sans s'étonner, le petit nombre de volcans encore actifs compris dans la région océanique. La mer du Sud, dont la surface dépasse environ d'un sixième la surface des parties solides, et qui, dans la région équinoxiale. depuis l'archipel des Galapagos jusqu'aux îles Pelew, occupe presque les deux cinquièmes d'un grand cercle de la Terre, renferme moins de montagnes fumantes, moins d'ouvertures établissant une communication active entre l'intérieur de la Terre et son enveloppe atmosphérique, que la seule île de Java. Le géologue de la grande *Exploring Expedition* qui parcourut l'Amérique de 1838 à 1842, sous le commandement de Charles Wilkes, l'ingénieux James Dana, a l'incontestable mérite d'avoir éclairé d'un jour nouveau tous les archipels de la mer du Sud, en généralisant les vues sur la configuration et la distribution des groupes d'îles, sur la direction de leurs axes, sur le caractère des roches, sur les périodes de soulèvement ou de

dépression par lesquelles passent de vastes étendues du sol sous-marin; ces heureux résultats sont dus tant à ses propres recherches qu'à la combinaison attentive qu'il a faite de toutes les observations antérieures. Si je puise dans son livre, ainsi que dans l'excellent ouvrage de Charles Darwin, le géologue de l'expédition du capitaine Fitz Roy (1832-1836), sans avoir toujours soin de les nommer, cette liberté, j'espère, ne sera pas prise en mauvaise part; j'ai assez témoigné, depuis un grand nombre d'années, la haute estime que je fais de leurs travaux.

Sans entrer dans les divisions capricieuses de Polynésie et de Micronésie, de Mélanésie et de Malaisie (40), empruntées soit au nombre et à l'étendue des îles, soit à la couleur et à l'origine des habitants, je commencerai l'énumération des volcans encore actifs de l'océan Pacifique par ceux qui sont situés au nord de l'équateur. Plus tard, je me réserve d'aller, dans la direction de l'Est à l'Ouest, jusqu'aux îles situées entre l'équateur et le 30e degré de latitude australe. On ne peut dire sans doute que tant d'îlots de basalte et de trachyte, pourvus d'innombrables cratères, d'où à diverses époques, sont sorties des éruptions, aient été semés sans ordre çà et là (41). On reconnaît en effet que la plupart ont été soulevés sur des failles d'une vaste étendue et sur des chaînes de montagnes sous-marines, qui se divisent en groupes et en régions suivant des directions déterminées, et appartiennent à différents systèmes, absolument comme les chaînes continentales

de l'Asie centrale et du Caucase. Mais la distribution des rares ouvertures qui ont donné, à des époques certaines, des témoignages simultanés d'activité volcanique dépend, selon toute vraisemblance, des perturbations purement locales qu'ont subies les failles aboutissant à ces ouvertures. Les lignes que l'on pourrait tenter de faire passer par trois volcans encore actifs, situés à des distances respectives de 600 à 750 milles géographiques, et qui ne sont séparés par aucun volcan intermédiaire, à savoir le Mauna-Loa qui porte le bassin du Kilauea sur son versant oriental; le cône de Tanna, dans les Nouvelles-Hébrides, et l'Assomption, dans le groupe septentrional des Larrons, ne nous apprendraient rien des lois générales qui ont présidé à la formation des volcans dans le bassin de la mer du Sud. Il en est autrement, si l'on se borne à des groupes isolés, et si l'on se reporte à ces époques vraisemblablement antéhistoriques où les nombreux volcans, aujourd'hui éteints, des Larrons, des îles Mariannes, des nouvelles Hébrides et des îles Salomon, étaient encore en possession de leur activité. Il est certain que ces volcans, rangés à la suite les uns des autres, ne se sont pas éteints successivement dans une direction déterminée, par exemple, dans la direction du Sud-Est au Nord-Ouest ou du Nord au Sud. Je nomme ici les rangées d'îles volcaniques qui sillonnent la haute mer, mais les îles Aléoutiennes et d'autres îles côtières fourniraient les mêmes observations. Des conclusions générales sur la direction qu'a dû suivre le refroidissement sont facilement matière

à erreur, parce que l'on ne peut faire entrer en compte les influences passagères de la conductibilité, selon qu'elle s'exerce librement ou non.

Le Mauna-Loa, que les Anglais écrivent Mouna-Loa, haut de 12 909 pieds, d'après la mesure exacte qu'en a prise le capitaine Wilkes, dans l'*Exploring Expedition* (42), plus haut par conséquent de 1 500 pieds que le pic de Ténériffe, est le plus puissant volcan de l'océan Pacifique, et le seul qui ait conservé toute son activité dans l'archipel, d'ailleurs entièrement volcanique, des îles Hawaii ou Sandwich. Les cratères du sommet, dont le plus grand a plus de 12 000 pieds de diamètre, laissent voir, dans leur état habituel, un sol ferme, composé de lave refroidie et de scories, d'où s'élèvent de petits cônes d'éruption fumants. Les ouvertures supérieures sont, en général, peu actives; cependant, au mois de juin 1832 et au mois de février 1843, elles ont été en éruption durant plusieurs semaines, et ont déversé des coulées de lave, larges de cinq à sept milles géographiques, qui atteignaient le pied du Mauna-Kea. L'inclinaison que suivait le courant, sans solution de continuité, était le plus ordinairement de 6°, souvent de 10° à 15°, quelquefois même de 25° (43). La configuration du Mauna-Loa a cela de particulier qu'il ne possède point de cône de cendres, comme le pic de Ténériffe, le Cotopaxi et tant d'autres volcans, et qu'il n'y a pas trace de pierre ponce. Néanmoins, les laves du sommet, d'un gris noirâtre et plus trachytiques que basaltiques, sont riches en

feldspath (44). La fluidité extraordinaire des laves du Mauna-Loa, qu'elles soient vomies par le cratère du sommet (Mokua-weo-weo) ou par le lac de lave situé sur le versant oriental du volcan, à 3 724 pieds seulement au-dessus du niveau de la mer, est attestée par les fils de verre tantôt lisses, tantôt frisés, que le vent disperse sur toute la surface de l'île. Ce verre capillaire, qui s'échappe aussi du volcan de Bourbon, est appelé, à Hawaii, *cheveu de Pele*. Pele est la déesse protectrice de la contrée.

Dana a montré d'une manière fort ingénieuse que Mauna-Loa n'est pas, pour les îles Sandwich, un volcan central, et que le lac de lave désigné sous le nom de Kilauea n'est pas une solfatare (45). Le plus grand diamètre du bassin de Kilauea a 15 000 pieds, près des deux tiers d'un mille géographique; le petit diamètre a 7 000 pieds. A l'état ordinaire, la lave proprement dite ne remplit pas toute cette cavité, mais seulement un espace qui a en longueur 13 000 pieds, en largeur 4 800. On monte par des espèces de gradins jusqu'aux bords du cratère. Le spectacle que l'on découvre laisse une impression solennelle de calme et de repos. L'approche d'une éruption ne s'annonce pas par des tremblements de terre ou par des bruits souterrains, mais par ce signe que la lave s'élève et s'affaisse soudainement, lorsqu'il s'en fallait quelquefois de 300 à 400 pieds qu'elle atteignît le bord supérieur du grand bassin. Pour comparer le bassin gigantesque

de Kilauea avec les petits cratères latéraux signalés pour la première fois par Spallanzani. sur la pente du Stromboli, aux quatre cinquièmes de cette montagne fermée au sommet, c'est-à-dire avec des bassins de lave bouillonnante dont le plus large a 200 pieds de diamètre, le plus petit 30 seulement, outre que ce serait rapprocher les grandes choses des petites, il faudrait avoir oublié que les bouches ignivomes situées sur la pente du Stromboli rejettent des scories à une grande hauteur, et vomissent même des laves. Si le grand bassin de Kilauea, qui forme le cratère inférieur et secondaire du volcan actif de Mauna-Loa, menace quelquefois de déborder, jamais cependant il n'a réellement débordé de manière à produire une véritable coulée de lave. Ce qui fait l'effet de coulées, c'est que la lave descend à travers des canaux souterrains, et s'échappe par de nouvelles ouvertures éruptives qui se forment à la distance de quatre ou cinq milles géographiques, par conséquent sur des points beaucoup moins élevés. Le niveau s'abaisse dans le bassin de Kilauea, à la suite de ces éruptions, déterminées par l'énorme pression qu'exerce la lave (46).

Hawaii renferme encore deux hautes montagnes, Mauna-Kea et Mauna-Hualalai, dont la première dépasse de 180 pieds Mauna-Loa, d'après les calculs du capitaine Wilkes. Mauna-Kea est une montagne conique, sur le sommet de laquelle on trouve non plus un cratère, mais seulement des éminences de

scories, depuis longtemps éteintes. Mauna-Hualalai * a environ 9 400 pieds de hauteur, et est encore enflammé; il a eu, en 1801, une éruption dans laquelle la lave s'est répandue du côté de l'Ouest, jusqu'à la mer. Toute l'île d'Hawaii doit son existence au soulèvement des trois montagnes colossales Loa, Kea et Hualalai, qui ont surgi du fond de la mer. Dans les récits des nombreuses ascensions du Mauna-Loa, parmi lesquels le récit émané de l'expédition du capitaine Wilkes est le fruit de 28 jours de recherches, il est question de neige tombée par un froid de 5° à 8° du thermomètre centésimal, et même de taches de neige isolées que l'on pouvait, dans le lointain, distinguer à l'aide du télescope sur le sommet du volcan, mais nulle part il n'est fait mention de neiges éternelles (47). J'ai déjà rappelé que, d'après les mesures de hauteur que l'on considère actuellement comme les plus exactes, le Mauna-Loa, haut de 12 909 pieds, et le Mauna-Kea qui en a 13 089, sont inférieurs de 950 et de 770 pieds à la limite inférieure des neiges éternelles dans les montagnes continentales du Mexique, par 19° 30′ de latitude. Il est vrai que, dans une petite île, la ligne des neiges éternelles doit être un peu moins élevée, parce que les couches inférieures de l'air y sont moins chaudes durant la saison brûlante, et que les couches supérieures contiennent une plus grande quantité d'eau.

Les volcans de Tafoa * et d'Amargoura *, dans le groupe Tonga, sont tous deux actifs, et le second a donné, le 9 juillet 1847, le spectacle d'une

éruption de lave considérable (48). Une circonstance digne de remarque, et qui s'accorde avec cette observation, que les animalcules des coraux évitent le voisinage des volcans actifs ou qui ont cessé de l'être depuis peu, c'est que, dans l'archipel Tonga où abondent les rochers madréporiques, Tafoa et le cône de Cao en sont complétement dépouillés (49).

Puis viennent les volcans de Tanna* et d'Ambrym*, dont le dernier est situé à l'ouest de Mallicollo, dans l'archipel des Nouvelles-Hébrides. Le Tanna, décrit pour la première fois par Reinhold Forster, s'est trouvé en pleine éruption, lorsque Cook découvrit l'île du même nom (1774). Depuis, son activité ne s'est point interrompue. Il atteint à peine la hauteur de 430 pieds, et est par conséquent, avec le volcan de Mendaña, dont il sera question plus bas, et le volcan japonais de Cosima, l'un des cônes ignivomes les moins élevés. On trouve à Mallicollo une grande quantité de pierre ponce.

Le *Mathews-Rock**, petit îlot fumant, haut à peine de 1 110 pieds, dont d'Urville a observé une éruption au mois de janvier 1828, est situé à l'est de l'extrémité méridionale de la Nouvelle-Calédonie.

Le volcan de Tinakoro *, dans le groupe de Vanikoro ou de Santa-Cruz.

Dans le même archipel de Santa-Cruz, à vingt milles géographiques nord-nord-ouest de Tinakoro, s'élève du fond de la mer, par 10° 23′ de latitude australe, l'île proprement appelée Volcan*. Les éruptions ignées de ce volcan, haut à peine de 200 pieds, que

Mendaña avait déjà reconnu en 1595, se sont renouvelées quelquefois à des intervalles périodiques de 10 minutes; quelquefois aussi, et ce fut le cas lors de l'expédition de d'Entrecasteaux, la colonne de vapeur a servi elle-même de cratère.

Dans le groupe de Salomon, l'île Sesarga * possède un volcan actif, et non loin de là, vers l'extrémité Sud-Est de cette longue rangée d'îles, dans la direction de l'archipel de Santa-Cruz, on a déjà constaté, sur la côte de l'île Guadalcañar, des traces d'éruptions volcaniques.

Parmi les îles Mariannes ou des Larrons, dans la partie septentrionale de cette rangée d'îles qui paraît avoir été soulevée au-dessus d'une faille méridienne, on cite, comme étant encore en activité, le Volcan de l'île Gougouan * et de l'île Pagon *, et le *Volcano Grande d'Asuncion* *, les côtes orientales du petit continent de la Nouvelle-Hollande, particulièrement à partir de l'endroit où elles changent d'allure, c'est-à-dire vers 25° de latitude australe, entre la baie d'Hervey et la baie Moreton, paraissent se refléter dans la zone des îles voisines. La grande île méridionale de la Nouvelle-Zélande et les groupes Kermadec et Tonga sont dirigés du Sud-Ouest au Nord-Est, tandis que les côtes septentrionales de la partie de la Nouvelle-Zélande située au Nord du détroit de Cook, depuis la baie de Plenty jusqu'au cap Oton, la Nouvelle-Calédonie, la Nouvelle-Guinée, les Nouvelles-Hébrides, les îles Salomon, la Nouvelle-Irlande et la Nouvelle-Bretagne, sont inclinées du Sud-Est au Nord-Ouest, et suivent

généralement la direction Nord 48° Ouest. Léopold de Buch a, le premier, fait ressortir ce rapport entre les masses continentales et les îles avoisinantes, dans l'archipel de la Grèce et dans la mer de Corail (50). Ainsi que l'ont remarqué Forster, le compagnon de Cook, et La Billardière, les îles de la mer de Corail ne sont pas non plus dépourvues des roches riches en quartz que l'on appelait autrefois roches primitives, c'est-à-dire de granite et de micaschiste. Dana a pu recueillir aussi des échantillons de ces roches sur l'île septentrionale de la Nouvelle-Zélande, à l'ouest de Tipounah, dans la *Bay of Islands* (51).

C'est seulement à son extrémité méridionale, dans la contrée appelée Australie-Heureuse, au pied et au sud des monts Grampian, que la Nouvelle-Hollande présente des traces fraîches encore d'une ancienne activité volcanique. D'après le témoignage de Dana, on trouve en plusieurs endroits, au Nord-Ouest de Port-Philippe et aux environs de la rivière Murray, des cônes volcaniques et des couches de lave (52).

Dans la Nouvelle-Bretagne*, il existe, tant sur la côte orientale que sur la côte occidentale, trois cônes au moins qui, dans les temps historiques, ont été observés par Tasman, Dampier, Carteret et La Billardière, et rangés parmi les volcans enflammés à coulées de laves.

On rencontre deux volcans actifs sur la côte Nord-Est de la Nouvelle-Guinée*, en face de la Nouvelle-Bretagne et des îles de l'Amirauté, riches en obsidienne.

Dans la Nouvelle-Zélande, dont la géologie à été éclaircie, au moins en ce qui concerne l'île septentrionale, par l'important ouvrage d'Ernest Dieffenbach et les belles recherches de Dana, la roche basaltique ou trachytique se fait jour en plusieurs points, à travers les roches plutoniennes et sédimentaires, qui y sont généralement répandues. C'est ce que l'on voit, par exemple, sur un très-petit espace voisin de la baie des Iles (latit. 35° 2′), où s'élèvent deux cônes de cendres, Turoto et Poeroua, couronnés de cratères éteints ; et plus au Sud, entre 37° 30′ et 39° 15′ de latitude, où une zone de terrain volcanique traverse le milieu de l'île, du Nord-Est au Sud-Est, sur une longueur de plus de 40 milles géographiques, depuis la baie de Plenty à l'Est jusqu'au cap Egmont à l'Ouest. On retrouve ici ce que nous a montré déjà sur une plus vaste échelle le continent mexicain : une faille transversale allant d'une mer à l'autre, dans la direction du Sud-Est au Sud-Ouest, et coupant la chaîne longitudinale qui détermine la forme de l'île entière. Au-dessus de cette fissure volcanique et vraisemblablement aux points d'intersection, s'élèvent le cône de Tongariro*, haut de 5 816 pieds, dont Bidwill a gravi le cratère jusqu'au cône de cendres, et, un peu plus au Sud, le cône de Ruapahou, qui n'a pas moins de 8 450 pieds. L'extrémité nord-est de la zone qui aboutit dans la baie de Plenty est formée par une solfatare toujours fumante, l'îlot volcanique Pouhia-i-wakati ou White Island, par 38° 30′ (53). En retournant vers le Sud-Ouest, on retrouve, sur le rivage même,

le volcan éteint de Poutawaki (Mount Ebgecombe), haut de 9066 pieds, la montagne neigeuse la plus élevée vraisemblablement de la Nouvelle-Zélande. A l'intérieur, des lacs, dont quelques-uns sont remplis d'eaux bouillantes, forment une longue chaîne, entre le mont Edgecombe et le Tongariro *, siége principal de l'activité volcanique qui a laissé échapper quelques coulées de lave et qui rejette encore des vapeurs et des cendres de pierre ponce. Le lac Taupo, qu'entourent un sable brillant de leucite et de sanidine et des collines de pierre ponce, a une longueur de près de six milles géographiques, et est situé au milieu de l'île septentrionale de la Nouvelle-Zélande, à 1 255 pieds, suivant Dieffenbach, au-dessus du niveau de la mer. Tout alentour, sur une étendue de deux milles anglais carrés, le sol est couvert de solfatares, de colonnes de vapeur, et de sources thermales qui, comme les Geisers de l'Islande, forment divers dépôts de silicate (54). A l'ouest du Tongariro, et à quatre milles seulement du rivage occidental, s'élève le volcan Taranaki (Mount Egmont), haut de 8 293 pieds, qui a été gravi et mesuré pour la première fois par Dieffenbach, au mois de novembre 1840. La cime du cône dont le contour rappelle le Tolima plutôt que le Cotopaxi, se termine par un plateau, sur lequel s'élève un cône de cendres très-escarpé. Rien ne témoigne, comme pour le volcan de l'île Blanche* et Tongariro, que l'activité du Tanaraki se soit conservée jusqu'à nos jours; on n'a point observé non plus de laves formant des cou-

lées non interrompues. Les masses sonores et finement laminées, qui, au milieu des scories se détachent, comme des arêtes, sur le cône de cendres, et rappellent ce que l'on voit à l'une des faces du pic de Ténériffe, ont du rapport avec le schiste porphyrique ou phonolithe.

Plusieurs groupes d'îles accumulés sur une ligne longue et étroite qui suit sans interruption la direction du Nord-Ouest, à savoir la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Guinée, les Nouvelles-Hébrides et les îles Salomon, Pitcairn, Tahiti et les îles Paumotou coupent le Grand-Océan, entre 12° et 27° de latitude australe, sur une étendue de 1 350 milles géographiques, depuis le méridien des côtes orientales de l'Australie jusqu'à l'île de Pâques et le rocher Sala-y-Gomez. Les parties occidentales de ces amas d'îles, la Nouvelle-Bretagne *, les Nouvelles-Hébrides*, Vanikoro*, et le groupe des îles Tonga*, donnent actuellement, au milieu du XIXe siècle, des preuves d'activité ignée. La Nouvelle-Calédonie, bien qu'entourée d'îles basaltiques ou offrant d'autres caractères volcaniques, ne renferme que des roches plutoniennes (55), comme Santa-Maria dans les Açores, suivant le témoignage de Léopold de Buch (56), et les îles Flores et Graciosa, d'après le comte Bédemar. C'est à cette absence d'activité volcanique dans la Nouvelle-Calédonie, où l'on a découvert tout récemment des formations sédimentaires et des lits de houille, que l'on attribue la vaste extension des bancs de coraux vivants dont sont hérissés ces

parages. L'archipel Viti ou Fidschi est basaltique et trachytique à la fois; il n'offre cependant d'autre signe caractéristique que les sources thermales de la baie de Savou, dans l'île Vanoua Lebou (57). Le même caractère basaltique se retrouve dans le groupe de Samoa (Navigators Islands), au nord-est des îles Viti et presque directement au nord de l'archipel Tonga, qui a conservé son activité volcanique. De plus, on y remarque des cratères d'éruption, en nombre infini, et entourés de couches de tuf dans lesquelles sont empâtés des fragments de coraux. L'objet le plus remarquable, au point de vue géognostique, est le pic Tafoua dans l'île Upolu du groupe Samoa, qu'il ne faut pas confondre avec le pic Tafoa, situé dans l'archipel Tonga, au sud d'Amargura, et encore en activité. Le pic Tafoua, haut de 2 006 pieds, que Dana a le premier gravi et mesuré, possède un cône de cendres régulièrement arrondi, que couronne un vaste cratère, entièrement rempli par un bois épais. Il n'y a aucune trace de coulées de lave, mais on trouve sur la montagne conique d'Apia, haute de 2 417 pieds, et située également dans l'île Upolu, de même que sur le pic Fao, qui atteint 3 000 pieds de hauteur, des champs de laves scorifiées, dont la surface est frisée et souvent réticulaire, ce que les Espagnols appellent *Malpais*. Il existe sous le champ de laves d'Apia de vastes cavités souterraines.

Tahiti, située au milieu des îles de la Société, est beaucoup plus trachytique que basaltique, et ne montre

plus, à proprement parler, que les ruines de son antique échafaudage volcanique. Il est même difficile de reconstruire la forme primitive des volcans, d'après ces circonvallations puissantes, surmontées d'aspérités aiguës, et interrompues par des précipices creusés verticalement à plusieurs milles pieds de profondeur. Des deux plus grandes cimes, l'Aorai et l'Orohena, l'Aorai a été étudiée par l'éminent géologue Dana, qui en a le premier fait l'ascension (58) ; la montagne trachytique d'Orohena paraît atteindre la hauteur de l'Etna. Ainsi, après le groupe actif des îles Sandwich, c'est l'île de Tahiti qui possède la plus haute roche éruptive de toute la région océanique comprise entre l'Amérique et l'Asie. Une roche feldspathique que l'on trouve dans les petites îles Borabora et Maurua, voisines de Tahiti, roche qu'Ellis, dans ses *Polynesian Researches*, présente comme un agrégat granitique de feldspath et de quartz, et que plus récemment des voyageurs ont décrite sous le nom de syénite, mérite une analyse beaucoup plus exacte, en considération du basalte poreux et scorifié qui s'est fait jour tout près de là. On ne saurait trouver actuellement de cratères éteints ni de coulées de lave dans les îles de la Société. On se demande si les cratères ont été détruits sur les cimes des montagnes, ou si les anciens échafaudages, aujourd'hui crevassés et bouleversés, n'avaient point autrefois la forme d'un dôme fermé, et si le basalte et les couches de trachyte ne sont pas sortis immédiatement des failles du globe, comme cela est arrivé vraisembla-

blement sur beaucoup d'autres points du sol océanique soulevé. Les divers degrés de viscosité ou de fluidité des matières, le plus ou moins de largeur des failles à travers lesquelles elles sont rejetées, influent sur la configuration des couches volcaniques, à mesure qu'elles se forment; et aux endroits où la trituration ne laisse subsister que de très-petits fragments, ce que l'on est convenu d'appeler des cendres, il en résulte des cônes d'éruption éphémères, qu'il ne faut pas confondre avec les grands cônes de cendres, placés au sommet des échafaudages permanents.

Tout près des îles de la Société, on rencontre, dans la direction de l'Est, les îles Basses ou îles Paumotou. Ce ne sont que des îles de coraux, si l'on en excepte le remarquable groupe basaltique des petites îles Gambier et Pitcairn (59). Une roche volcanique semblable à celle dont ce dernier groupe est formé, se retrouve dans l'île de Pâques ou Waihou, située vers l'Est, à une distance de 315 milles géographiques, mais sous le même parallèle, c'est-à-dire entre 25° et 27° de latitude australe. Il est probable même qu'elle existe encore 60 milles plus loin, dans les rochers de Sala-y-Gomez. Le capitaine Beechey a remarqué dans l'île de Pâques, où les cônes les plus élevés atteignent à peine 1 000 pieds de hauteur, toute une rangée de cratères, dont aucun ne lui a paru enflammé.

Plus à l'Est encore, et près du Nouveau Continent, l'archipel des Galapagos, l'un des groupes volcaniques les plus actifs, dans lequel se détachent cinq

îles plus considérables que les autres, marque la limite des îles de l'océan Pacifique. On peut presque dire que nulle part sur un aussi petit espace, car le diamètre du groupe des îles Galapagos est à peine de 30 ou 35 milles géographiques, il n'a subsisté un pareil nombre de montagnes coniques et de cratères éteints, traces visibles de l'antique communication entre l'intérieur du globe et son enveloppe atmosphérique. Darwin évalue le nombre de ces cratères à 2000. Lorsque ce spirituel voyageur visita les Galapagos, dans l'expédition du *Beagle* commandée par le capitaine Fitzroy, deux cratères donnaient en même temps le spectacle d'une éruption ignée. Dans toutes ces îles, on voit des coulées d'une lave très-fluide, qui se divisent et souvent sont allées se jeter dans la mer. Presque toutes aussi sont riches en augite et en olivine. Quelques-unes, plus trachytiques, contiennent, dit-on, de grands cristaux d'albite (60). Il serait à propos, eu égard aux progrès récents de la minéralogie, de rechercher si ces trachytes porphyriques ne contiennent pas de l'oligoclase, comme il y en a sur le pic de Ténériffe, sur le Popocatepetl et le Chimborazo, ou du labrador, comme sur l'Etna et le Stromboli. La ponce fait complétement défaut dans les îles Galapagos, de même que sur le Vésuve, en tant du moins qu'elle serait une production de ce volcan. Nulle part non plus il n'est fait mention de hornblende. Ce n'est donc pas la formation trachytique du Toluca ou de l'Orizaba qui règne en ces lieux, non plus que celle de quelques volcans de Java, d'où le docteur

Junghuhn m'a envoyé des fragments de lave solidifiée, pour être soumis à l'analyse de Gustave Rose. Dans l'île la plus occidentale et la plus considérable du groupe des Galapagos, à Albemarle, les montagnes coniques sont disposées en ligne droite, ce qui indique qu'elles sont soulevées sur des failles. Leur plus grande hauteur ne dépasse cependant pas 4 350 pieds. Le golfe situé à l'Ouest, dans lequel s'élève, comme une île, le pic Narborough, qui a livré passage en 1825 à une violente éruption, a été décrit par Léopold de Buch comme un cratère de soulèvement, et comparé avec Santorin (61). Les bords des cratères sont souvent formés, dans les îles Galapagos, de couches tufacées qui s'écroulent de toute part. Un fait remarquable et qui révèle l'action générale et simultanée d'une grande catastrophe, c'est que tous les bords des cratères sont rompus ou entièrement détruits du côté du Sud. Une partie de ce que l'on appelle tuf dans les anciennes descriptions est formé de couches de palagonite, tout à fait semblables à celles d'Islande et d'Italie; c'est ce que Bunsen a déjà démontré, à la suite d'analyses exactes, pour les tufs de l'île Chatam (62). Cette île, la plus orientale de tout le groupe, et dont Beechey a fixé soigneusement la position astronomique, est encore à 134 milles géographiques de la Punta de San-Francisco, sur le continent américain. J'ai eu l'occasion de calculer cette distance en déterminant la longitude de Quito (81° 4′ 38″); elle est aussi attestée par la *Mapa de la Nueva Granada* qu'Acosta a publiée en 1849.

IX. CONTINENT AMÉRICAIN.

1° *Mexique.*

Les six volcans mexicains, le Tuxtla *, l'Orizaba, le Popocatepetl *, le Toluca, le Jorullo * et le Colima *, dont quatre ont eu des éruptions dans les temps historiques, ont été déjà énumérés plus haut, et l'on a signalé les particularités, remarquables au point de vue géognostique, qu'offre leur position respective (63). D'après les recherches récentes de Gustave Rose, la formation du Chimborazo se trouve reproduite dans la roche du grand volcan mexicain, du Popocatepetl; cette roche consiste en oligoclase et en augite. Même dans les couches trachytiques presque noires, qui ressemblent à du pechstein, on reconnaît encore de très-petits cristaux d'oligoclase à angles aigus. Cette même formation du Chimborazo et du pic de Ténériffe se retrouve dans le volcan de Colima, fort reculé vers l'Ouest, et voisin des côtes de l'océan Pacifique. Je n'ai point visité ce volcan; mais, depuis le printemps de 1855, nous devons à M. Pieschel une revue fort instructive des roches qu'il en a rapportées, et d'intéressantes notices géologiques sur tous les volcans du plateau mexicain, qu'il a étudiés sans exception (64). Le volcan de Toluca, dont j'ai gravi et mesuré barométriquement le plus haut sommet, l'étroit et difficile *pico del Frayle*, haut de 14 232 pieds (29 septembre 1803), a une tout autre constitution géologique que le Popocatepetl et la mon-

tagne ignivome de Colima, qu'il ne faut pas confondre avec une autre montagne neigeuse du même nom, et plus élevée. Le volcan de Toluca consiste. comme le pic d'Orizaba, le Puy-de-Chaumont, en Auvergne, et le volcan d'Égine, en une association d'oligoclase et de hornblende. D'après cette courte notice, on voit, et c'est un fait fort digne de remarque, que, dans la longue rangée de volcans qui s'étend d'une mer à l'autre, il n'y en a pas deux, se suivant immédiatement, qui offrent la même composition minéralogique.

2° Partie Nord-Ouest de l'Amérique. — Région située au nord du parallèle du Rio-Gila.

En traitant de l'activité volcanique dans les îles qui bordent les côtes orientales de l'Asie (65), j'ai signalé, comme méritant une attention particulière, l'arc décrit par la faille de soulèvement d'où sont sorties les îles Aléoutiennes, et qui rend sensible le lien direct par lequel le continent asiatique se rattache au continent américain, entre les deux presqu'îles volcaniques du Kamtschatka et d'Alaska. Cet arc est la limite septentrionale d'une grande baie formée dans l'océan Pacifique, qui, après avoir occupé, de l'Est à l'Ouest, à la hauteur de la ligne équinoxiale, un espace de 150 degrés de longitude, se rétrécit de manière à n'en plus remplir que 37, entre les extrémités des deux presqu'îles. Les navigateurs avaient bien reconnu depuis soixante-dix ou quatre-vingts ans,

un grand nombre de volcans, plus ou moins actifs, sur la côte occidentale du continent américain; mais ce groupe était pour ainsi dire isolé, sans rapport avec la rangée des volcans mexicains ou de ceux que l'on supposait exister dans la presqu'île de Californie. En remplissant par une série de cônes trachytiques éteints la lacune qui existait sur un espace de 28 degrés de latitude, entre Durango et le nouveau Washington-Territory, au nord de l'Orégon occidental, on a rendu sensible la liaison géognostique de ces volcans. La description physique de la Terre est redevable de cet important progrès aux expéditions scientifiques que le gouvernement des États-Unis a si heureusement combinées, en vue de découvrir le chemin le plus facile et le plus court pour faire communiquer les plaines du Mississipi et les côtes de l'océan Pacifique. Toutes les branches de l'histoire naturelle ont tiré avantage de ces recherches. Dans cette *terra incognita*, qui s'étend depuis le versant oriental des *Rocky-Mountains* jusqu'à une grande distance du versant occidental, de vastes étendues de pays ont été trouvées couvertes de produits prouvant l'existence de volcans éteints ou encore actifs. Ce dernier cas est celui des montagnes des Cascades. Ainsi, en partant de la Nouvelle-Zélande, et en remontant au Nord-Ouest, à travers la Nouvelle-Guinée, les îles de la Sonde, les Philippines et l'Asie orientale jusqu'aux îles Aléoutiennes, pour redescendre vers le Sud, par la partie Nord-Ouest de l'Amérique, le Mexique, l'Amérique cen-

trale et méridionale, jusqu'à l'extrémité du Chili, nous embrassons, dans son immense périmètre de 6 600 milles géographiques, tout le bassin de la mer du Sud, avec les monuments qu'y a déposés de toutes parts l'activité volcanique. Il n'était point possible d'arriver à ces vues d'ensemble, sans entrer dans tous les détails de l'orientation géographique et sans une classification exacte.

Après avoir marqué les contours du golfe immense formé par la mer du Sud, je devrais dire les contours de la plus grande des parties entre lesquelles se divise la masse unique qui pénètre à travers les continents, puisqu'il n'y a en réalité, sur la Terre, qu'une seule masse liquide, dont toutes les parties communiquent entre elles (66), il nous reste à décrire les contrées qui s'étendent du Rio-Gila aux détroits de Norton et de Kotzebue. De fausses analogies, tirées des Pyrénées, des Alpes et des Cordillères, depuis le Chili méridional jusqu'à 5° de latitude Nord, et entretenues par des cartes fantastiques, ont accrédité cette opinion que l'on peut suivre comme un mur, du Sud-Est au Nord-Ouest, les hautes montagnes du Mexique ou du moins la crête de ces montagnes, qui forment ce que l'on appelle une *Sierra-Madre*. En réalité, la région montagneuse du Mexique est un large et puissant soulèvement, qui suit bien sans interruption, entre les deux mers, la direction indiquée ci-dessus, à la hauteur de cinq ou sept mille pieds, mais sur lequel, comme sur le Caucase et dans l'Asie centrale,

des systèmes partiels de montagnes s'élèvent, en différents sens, à 14000 et à 16700 pieds. L'orientation de ces groupes partiels, soulevés au-dessus de failles non parallèles, est le plus souvent indépendante de l'axe imaginaire que l'on peut faire passer à travers les ondulations formées par le dos aplani du soulèvement général. L'illusion que causent ces remarquables relations du sol ajoute encore à l'impression pittoresque de cette belle contrée. Les montagnes gigantesques, couvertes de neiges éternelles, semblent sortir du milieu d'une plaine. La surface du sol légèrement ondulé, en d'autres termes, la haute plaine, se confond avec les plaines des basses terres. Le changement de température sous la même latitude avertit seul des hauteurs que l'on a gravies. La faille de soulèvement des volcans d'Anahuac, qui suit, entre 19° et 19° 15′ de latitude, la direction de l'Est à l'Ouest, coupe presque à angle droit l'axe de l'ondulation générale (67).

Cette configuration d'une partie considérable de la surface terrestre, dont on n'a commencé à se rendre compte par des mesures exactes que depuis 1803, ne saurait être confondue avec les renflements enfermés entre deux chaînes de montagnes comme entre deux murailles, dont on rencontre des exemples dans la Bolivie, autour du lac Titicaca, et dans l'Asie centrale, entre l'Himalaya et le Kouen-Lun. Le premier de ces gonflements, qui semble former le lit d'une vallée, a en moyenne, d'après Pentland, 12054 pieds

de hauteur au-dessus du niveau de la mer; le second, celui du Thibet, en a plus de 14 070, suivant les calculs du capitaine H. Strachey, de Joseph Hooker et de Thomas Thomson. Le vœu que j'exprimais, il y a un demi-siècle, dans mon *Analyse de l'Atlas géographique et physique du royaume de la Nouvelle-Espagne*, que mon profil du plateau compris entre Mexico et Guanaxuato pût être continué jusqu'à Santa-Fé del Nuevo-Mexico, à travers Durango et Chihuahua, a été pleinement satisfait. La distance totale est actuellement de beaucoup plus de 300 milles géographiques, dont le quart seulement pour les sinuosités. On peut se faire une idée de cette singulière conformation du sol et de la pente presque insensible d'un soulèvement qui, en certaines parties, n'a pas moins de 60 à 70 milles géographiques de largeur, par ce fait que la distance de Mexico à Santa-Fé, qui comprend 16 degrés 20 minutes de latitude, à peu près la distance de Stockholm à Florence, peut être franchie avec des voitures à quatre roues, sans routes faites de main d'homme. La possibilité de ces communications était déjà connue des Espagnols à la fin du XVIe siècle, lorsque le vice-roi, le comte de Monterey, préparait les premiers établissements qui partirent de Zacatecas (68).

Afin de rendre plus sensible ce que j'ai dit d'une manière générale des relations hypsométriques entre Mexico et Santa-Fé del Nuevo-Mexico, j'inscris ici les principaux éléments du nivellement barométrique achevé de 1803 à 1847. Je suis la direction du Nord

au Sud, afin que les points plus septentrionaux, se trouvant au-dessus des autres, répondent plus facilement à l'orientation ordinaire des cartes géographiques (69).

Santa-Fé del Nuevo-Mexico (lat. 35° 41'), haut. 6 611 pieds, d'après Wislizenus.

Albuquerque (lat. 35° 8'), haut. 4 550 p., W. (70).

Paso-del-Norte, sur le Rio-Grande-del-Norte (lat. 29° 48'), haut. 3 557 p., W. (71).

Chihuahua (lat. 28° 32'), haut. 4 352 p., W.

Cosiquiriachi, haut. 5 886 p., W.

Mapimi, dans le Bolson de Mapimi (lat. 25° 54'), haut. 4 487 p., W.

Parras (lat. 25° 32'), haut. 4 678 p., W.

Saltillo (lat. 25° 10'), haut. 4 917 p., W.

Durango (lat. 24° 25'), haut. 6 426 p., d'après Oteiza.

Fresnillo (lat. 23° 10'), haut. 6 797 p., d'après Burkart.

Zacatecas (lat. 22° 50'), haut. 8 456 p., B.

San-Luis-Potosi (lat. 22° 8'), haut. 5 714 p., B.

Aguas-Calientes (lat. 21° 53'), haut. 5 875 p., B.

Lagos (lat. 21° 20'), haut. 5 983 p., B.

Villa de Leon (lat. 21° 7'), haut. 5 755 p., B.

Silao, haut. 5 546 p., B.

Guanaxuato (lat. 21° 0' 15''), haut. 6 414 p., d'après Humboldt.

Salamanca (lat. 20° 40'), haut. 5 406 p., H.

Celaya (lat. 20° 38'), haut. 5 646 p., H.

Queretaro (lat. 20° 36' 39''), haut. 5 970 p., H.

San-Juan-del-Rio, dans l'État de Queretaro (lat. 20° 30'), haut. 6 090 p., H.

Tula (lat. 19° 57'), haut. 6 318 p., H.

Pachuca, haut. 7 638 p., H.

Moran, près de Real-del-Monte, haut. 7 986 p., H.

Huehuetoca, extrémité septentrionale de la grande plaine de Mexico (lat. 19° 48′), haut. 7 068 p., H.

Mexico (lat. 19° 25′ 45″), haut. 7 008 p., H.

Toluca (lat. 19° 16′), haut. 8 280 p., H.

Venta de Chalco, extrémité Sud-Est de la plaine de Mexico (lat. 19° 16′), haut. 7 236 p., H.

San-Francisco-Ocotlan, extrémité Ouest de la grande plaine de Puebla, haut. 7 206 p., H.

Cholula, au pied de l'ancienne pyramide à gradins (lat. 19° 2′), haut. 6 480 p., H.

La Puebla de los Angeles (lat. 19° 0′ 15″), haut. 6 756 p., H.

Le Village de las Vigas, extrémité orientale du plateau d'Anahuac (lat. 19° 37′), haut. 7 332 p., H.

Au commencement du XIXe siècle, aucune hauteur distincte n'avait été mesurée barométriquement, dans toute l'étendue de la Nouvelle-Espagne; aujourd'hui il est devenu possible de réunir, dans la seule direction du Nord au Sud, entre Santa-Fé et Mexico, sur l'espace de 16 degrés et demi qui sépare Santa-Fé de Mexico, 32 points déterminés hypsométriquement, et le plus souvent aussi astronomiquement. Nous voyons, d'après le tableau qui précède, que la surface du vaste plateau mexicain ondule entre 5 500 et 7 000 pieds. La partie la plus basse du chemin de Parras à Albuquerque dépasse encore de 1 000 pieds le faîte du Vésuve.

Le plateau dont nous venons de considérer la partie culminante s'élargit tellement, dans la direction de l'Est à l'Ouest, depuis la zone tropicale jusqu'au 42e et au 44e parallèle, que le *Great Basin*,

situé à l'ouest du grand Lac Salé des Mormons, et élevé en moyenne de 4000 pieds, a plus de 85 milles géographiques de diamètre; mais ce gonflement du sol qui, malgré sa puissance, suit une pente peu sensible, ne doit pas être confondu avec les chaînes de montagnes qui le dominent (72). Nous devons au colonel Frémont de connaître la configuration de cette contrée; c'est là un des résultats principaux des grands travaux hypsométriques qu'il a accomplis en 1842 et 1844. La haute plaine est d'une époque antérieure à la formation des chaînes de montagnes et des systèmes qui rayonnent dans différentes directions. Sous le 32e parallèle environ, à l'endroit où, d'après la délimitation actuelle, elles entrent dans le territoire occidental des États-Unis, formé des provinces enlevées au Mexique, les montagnes de Chihuahua portent déjà le nom un peu vague de *Sierra-Madre;* ce n'est néanmoins que dans la région voisine d'Albuquerque que la bifurcation devient tranchée (73). Dès lors la dénomination générale de Sierra-Madre appartient à la chaîne occidentale; la chaîne orientale, à partir de 36° 10′ de latitude, un peu au nord-est de Santa-Fé, a reçu des voyageurs américains et anglais le nom aujourd'hui universellement adopté, bien qu'assez mal choisi, de Montagnes-Rocheuses (Rocky-Mountains). Les deux chaînes forment une vallée longitudinale, qui renferme les villes d'Albuquerque, de Santa-Fé et de Taos, et qu'arrose le Rio Grande del Norte. Par 38° 30′, une chaîne qui s'étend

de l'Est à l'Ouest, sur une étendue de 22 milles géographiques, ferme la vallée; mais à partir de ce point jusqu'à 41°, les *Rocky-Mountains* poursuivent leur course parallèlement au méridien, sans nouvelle interruption. Dans cet intervalle, s'élèvent, un peu à l'Est, les pics Espagnols, le pic de Pike, haut de 5 440 pieds, dont Frémont a donné un beau dessin, le pic James, haut de 10 728 pieds, et les trois *Park-Mountains* qui enferment trois hautes vallées en forme de cuves, dont les remparts latéraux atteignent, sur le pic de Long ou *Big-Horn*, la plus orientale de ces trois montagnes, jusqu'à 8 500 et 10 500 pieds de hauteur (74). Arrivée à la limite orientale qui sépare le *Middle-Park* et le *North-Park*, la chaîne change d'allure et court du Sud-Est au Nord-Ouest, sur une étendue d'environ 65 milles géographiques, entre 40° 15′ et 44° de latitude. Dans cet espace, sont situés le *South-Park*, haut de 7 028 pieds, et les célèbres *Wind-River-Mountains*, au milieu desquels s'élève, par 43° 8′, le pic de Frémont haut de 12 730 pieds. Sous le parallèle de 44°, près des Trois-Tetons, les Montagnes-Rocheuses abandonnent leur inclinaison vers le Nord-Ouest, pour reprendre la direction méridienne, qu'elles conservent jusqu'au *Lewis-and-Clarke's-Pass*, situé par 47° 2′ de latitude, 114° 30′ de longitude. La chaîne atteint encore, en cet endroit, la hauteur de 5 608 pieds; mais les lits profondément creusés des nombreuses rivières qui aboutissent au *Flathead-River* ou *Clarke's-Fork* lui font perdre bientôt sa simplicité et sa régularité. Le *Clarke's-*

Fork et le *Lewis-River* ou *Snake-River* concourent à former le grand fleuve Columbia, qui doit ouvrir un jour une voie importante au commerce du monde (75).

De même que, dans la Bolivie, la branche des Cordillères la plus éloignée du rivage, celle du Sorata (haut. 19 974 pieds) et de l'Illimani (haut. 19 843 pieds), n'offrent plus un seul volcan actif; c'est aussi, aux États-Unis, dans les contrées les plus occidentales, dans les chaînes côtières de la Californie et de l'Orégon qu'est circonscrite l'activité volcanique. La longue chaîne des Montagnes-Rocheuses, séparée de la mer du Sud par une distance qui varie de 120 à 200 milles géographiques, bien qu'elle ne montre aucune trace d'éruption ignée subsistant encore de nos jours, présente sur ses deux versants, de même que la chaîne orientale de la Bolivie, dans la vallée de Yucay (76), des roches volcaniques, des cratères éteints, des laves contenant de l'obsidienne et des champs de scories. Dans cette chaîne des Montagnes-Rocheuses, dont la géographie est si bien connue, grâce aux excellentes recherches de Frémont, D'Émory, d'Abbot, de Wizlizenus, de Dana et de Jules Marcou, ce dernier, géologue très-distingué, compte, sur les deux versants, trois groupes de roches volcaniques anciennes. C'est encore l'esprit d'observation dont le colonel Frémont a fait preuve depuis 1842 et 1843 qui nous a valu de connaître les premiers témoignages de l'activité volcanique dans cette contrée (77).

Sur la pente orientale des Montagnes-Rocheuses,

dans le chemin du Sud-Ouest, qui conduit de *Bent's fort*, baigné par l'Arkansas, à *Santa-Fé del Nuevo-Mexico*, sont situés deux volcans éteints : les *Raton-Mountains*, sur lesquels s'élève le *Fischer's-Peak*, et la colline *el Cerrito*, entre Galisteo et *Peña Planca* (78). Les laves rejetées par les Raton-Mountains couvrent toute la contrée qui s'étend depuis le cours supérieur de l'Arkansas jusqu'au Canadian-River. La pépérine et les scories volcaniques, que l'on commence à rencontrer dans les prairies, à mesure que l'on se dirige vers l'Ouest et que l'on se rapproche des Rocky-Mountains, appartiennent peut-être aux anciennes éruptions du Cerrito ou des grands pics Espagnols, situés par 37° 32′. Cette contrée volcanique, qui entoure, à l'Est, les montagnes détachées, connues sous le nom de Raton-Mountains, forme une superficie dont le diamètre a 20 milles géographiques de longueur, et dont le centre se trouve environ par 36° 50′ de latitude.

Le versant occidental offre les plus incontestables témoignages d'une activité volcanique qui a cessé de se manifester, mais qui se déployait jadis sur un espace beaucoup plus considérable, que l'importante expédition du lieutenant Whipple a traversé dans toute sa largeur, de l'Est à l'Ouest. Cet espace, aux contours irréguliers, qui de plus est interrompu, au Nord, par la Sierra de Mogoyon, sur une longueur de 30 milles géographiques, est compris, toujours d'après la carte géologique de Marcou, entre 33° 48′ et 35° 40′ de latitude. Les éruptions dont il a été le

théâtre sont par conséquent plus méridionales que celles des *Raton-Mountains;* leur centre tombe à peu près sous le parallèle d'Albuquerque. Cette contrée se divise en deux parties : l'une, que l'on peut désigner sous le nom de *Mount-Taylor*, plus voisine de la crête des *Rocky-Mountains*, finit près de la *Sierra de Zuñi* (79); l'autre, située à l'Ouest, est appelée *Sierra-de-San-Francisco.* Le mont Taylor, de forme conique et haut de 11 500 pieds, est entouré de coulées de lave rayonnant de toute part, dépouillées encore aujourd'hui de toute végétation, comme le Malpais, et recouvertes de scories et de ponce, qui serpentent à la distance de plusieurs milles, et offrant absolument le même aspect que les alentours de l'Hécla. A l'Ouest et à 18 milles environ du *Pueblo* actuel de Zuñi, s'élèvent les hautes montagnes volcaniques de San-Francisco, qui courent au sud du Rio-Colorado-Chiquito, et dont le sommet culminant a, dit-on, plus de 15 000 pieds. Puis se succèdent, dans la direction de l'Ouest, le *Bill-William-Mountain*, l'*Aztec-Pass* (haut. 5 892 pieds) et les *Aquarius-Mountains* (haut. 8 000 pieds). La roche volcanique ne s'arrête pas au confluent de *Bill-William-Fork* et du *Colorado-Grande*, près du village des Indiens Mohave (latit. 34° 15'; longit. 116° 20'); car on retrouve au delà du Rio-Colorado, près du lac Soda, plusieurs cratères d'éruptions, encore ouverts, quoiqu'éteints (80). Ainsi nous voyons, dans ce qui forme aujourd'hui le nouveau Mexique, au milieu du groupe volcanique de la *Sierra-de-San-Francisco*

jusque un peu à l'ouest du *Rio-Colorado Grande* ou *del Occidente,* qui se grossit des eaux du Rio-Gila, se reproduire, sur une étendue de 45 milles, l'ancien domaine volcanique de l'Auvergne et du Vivarais, et un nouveau champ s'ouvrir aux études géologiques.

C'est encore sur le versant occidental des Rocky-Mountains, mais plus haut vers le Nord et à 135 milles de distance, que l'on rencontre le troisième groupe offrant des traces d'une ancienne activité volcanique. Ce groupe se compose du pic Frémont, des Trois-Tetons et de trois autres montagnes, les Trois-Buttes (81), fort semblables aux premières par leur forme conique et leur dénomination, mais placées plus à l'Est, plus près par conséquent de la grande chaîne. Cette région présente aux regards des bancs de lave noire, très-vastes et rompus en beaucoup d'endroits, dont la surface est scorifiée (82).

Plusieurs chaînes côtières, tantôt simples, tantôt doubles, et dont la partie septentrionale est restée, à partir de 46° 12′ de latitude, un foyer d'activité volcanique, courent parallèlement à la chaîne des Rocky-Mountains. Nous avons d'abord, depuis San-Diego jusqu'à Monterey, c'est-à-dire de 32° 15′ à 36° 45′, ce que l'on appelle spécialement *Coast-Rang*, qui n'est autre que le prolongement des hautes terres de l'ancienne Californie ou Californie inférieure; puis la *Sierra-Nevada de alta California*, qui se déploie entre 36° et 40° 45′, généralement séparée des côtes de la mer du Sud par une distance de 20 milles géographiques; enfin la chaîne des

Cascades (Cascade-Range), qui renferme les plus hautes cimes encore enflammées, et commençant aux hautes *Shasty-Mountains*, sous le parallèle de la baie de la Trinité (41° 10′), se déroule du Sud au Nord, à 26 milles des côtes, et dépasse de beaucoup le parallèle du détroit de Fuca. Dans la même direction, mais à 70 milles du rivage, courent, entre 43° et 46°, les *Blue-Mountains*, hautes en moyenne de 6 à 7 000 pieds (83). Enfin, dans la partie centrale de l'ancienne Californie, un peu au Nord cependant, près de la côte occidentale du golfe, on rencontre les volcans éteints ou le volcan *de las Virgenes*, dont j'ai marqué la place dans ma carte du Mexique, et qui a eu sa dernière éruption en 1746. On manque de renseignements certains tant sur la montagne que sur la contrée environnante (84).

Déjà dans la *Coast-Range*, près du port de San-Francisco, sur le *Monte-del-Diablo*, exploré par le docteur Trask (haut. 3 446 pieds), et dans la vallée longitudinale, riche en or, du *Rio-del-Sacramento*, on a trouvé des roches volcaniques anciennes, au milieu d'un cratère de trachyte écroulé, qui porte le nom de *Sacramento-Butt*, et dont Dana a donné le dessin. Plus loin vers le Nord, les *Shasty-Mountains* ou *Tshashtl-Mountains* contiennent des laves basaltiques, de l'obsidienne avec laquelle les naturels font des pointes à leurs flèches, et des serpentines calcaires qui, en beaucoup de points du globe, se trouvent étroitement associées aux formations volcaniques. Mais le véritable siége d'une activité ignée subsistant encore

de nos jours, c'est la chaîne des Cascades, dans laquelle plusieurs pics, couverts de neiges éternelles, s'élèvent jusqu'à 15 000 pieds de hauteur. J'en donne ici l'énumération en allant du Sud au Nord. Je continue à marquer d'un astérique, les volcans plus ou moins actifs, mais encore enflammés (85). Les hautes montagnes coniques qui n'ont pas ce signe sont vraisemblablement des volcans éteints ou des montagnes trachytiques, en forme de cloches, sans ouverture au sommet.

Le mont *Pitt* ou *M'Laughlin*, un peu à l'ouest du lac Tlamat (latit. 42° 30′), haut. 8 960 pieds.

Le mont *Jefferson* ou *Vancouver*, montagne conique (latit. 44° 35′).

Le mont *Hood* (latit. 45° 10′). Cette montagne est certainement un volcan éteint, recouvert de lave cellulaire. D'après Dana, sa hauteur est comprise entre 14 000 et 15 000 pieds, ainsi que celle du *Mount-Saint-Helen's*, un peu plus élevé cependant, et qui occupe, dans la rangée volcanique, une place plus septentrionale. Le mont Hood (86) a été gravi dans le mois d'août 1853, par Lake, Travaillot et Heller.

Le mont *Swalalahos* ou *Saddle-Hill*, au sud-sud-est d'Astoria, avec un cratère éteint et écroulé (87).

Le mont *Saint-Helen's**, au nord du Rio-Columbia (latit. 46° 12′). D'après Dana, ce volcan n'a pas moins de 14 100 pieds de haut (88). Il est encore actif, et porte à son sommet un cratère, d'où sort continuellement de la fumée. Il est couvert de neiges éternelles, et

offre le bel aspect d'un cône régulier. Le 23 novembre 1842, a eu lieu une grande éruption qui, d'après Frémont, a rejeté tout autour, à une distance considérable, une immense quantité de cendres et de pierre ponce.

Le mont *Adams* (latit. 46° 18′), situé presque exactement à l'est du volcan Saint-Helen's, mais sépare de la côte par plus de 28 milles géographiques, tandis que le mont Saint-Helen's n'en est éloigné que de 19 milles.

Le mont *Reignier**, que l'on écrit aussi *Rainier* (latit. 46° 48′), à l'est-sud-est du fort Nisqually, sur le détroit de Puget, qui communique avec le détroit *San-Juan-de-Fuca*, longtemps célèbre dans l'histoire des découvertes de l'océan Pacifique. D'après la carte routière publiée par Edwin Johnson en 1854, ce volcan a 11 567 pieds de hauteur (12 330 pieds anglais); il a eu de violentes éruptions en 1841 et 1843.

Le mont *Olympus* (latit. 47° 50′), à 6 milles géographiques au sud du détroit San-Juan-de-Fuca.

Le mont *Baker**, vaste volcan encore actif, situé sur le territoire de Washington (latit. 48° 48′); sa hauteur, qui ne paraît point avoir été mesurée, est considérable; sa forme est exactement celle d'un cône.

Le mont *Brown* (haut. 15 000 pieds?), et, un peu à l'Est, le mont Hookes (haut. 15 700?), sont signalés par Johnson, comme de hautes montagnes de trachyte, douées autrefois d'activité volcanique, et situées dans la Nouvelle-Calédonie, par 52° 15′ de

latitude, 120° et 122° de longitude, c'est-à-dire, ce qui est un fait remarquable, à 75 milles géographiques de la mer.

Le mont *Edgecombe**, dans la petite île Lazarus, près de Sitka (latit. 57° 3'). J'ai mentionné ailleurs la violente éruption ignée qui eut lieu en 1796 (89). Le capitaine Lisiansky, qui a gravi le mont Edgecombe dans les premières années de ce siècle, ne l'a pas trouvé enflammé. Sa hauteur est, d'après Ernest Hofmann, de 2 852 pieds, d'après Lisiansky, de 2 628 (90). A peu de distance, sont des sources chaudes, qui jaillissent du granite, comme sur le chemin des *Valles de Aragua* à Porto-Cabello.

Le mont *Fairweather*, ou *Cerro-de-Buen-Tiempo*, haut, d'après Malaspina, de 13 802 pieds (4 489 mètres), et situé par 58° 45' (91). Cette montagne est couverte de ponce. Il est vraisemblable qu'il y a peu de temps elle était encore enflammée, de même que le mont Elias.

Le volcan de *Cook's-Inlet* (latit. 60° 8'), élevé de 11 320 pieds, suivant l'amiral Wrangel, qui, ainsi que Vancouver, l'a considéré comme un volcan actif (92).

Le mont Élias (latit. 60° 17'; longit. 138° 30'). D'après les manuscrits de Malaspina, que j'ai trouvés dans les archives de Mexico, sa hauteur est de 16 749 pieds (5 441 mètres), mais la carte du capitaine Denham, dressée de 1853 à 1856, ne lui donne que 14 044 pieds.

Ce que M'Clure, dans son voyage sur l'*Investigation* à la recherche du passage Nord-Ouest, a signalé vers

l'est de l'embouchure de la rivière Mackensie, par 69° 57′ de latitude, 129° 20′ de longitude, et qu'il a nommé les *volcans de la baie de Franklin*, paraît être le phénomène que l'on a quelquefois appelé des *feux terrestres*, ou simplement les vapeurs sulfureuses qu'exhalent des salses brûlantes. Un témoin oculaire, le missionnaire Miertsching, interprète de l'Expédition, a vu trente ou quarante colonnes de vapeurs qui sortaient des failles de la Terre ou de petites éminences coniques, formées de glaise diversement colorée. L'odeur du soufre était si forte que l'on pouvait à peine approcher des colonnes de vapeur à la distance de douze pas. Nulle part il n'y avait de roches *in situ* ou de masses solides. Pendant la nuit, on voyait du vaisseau des apparitions lumineuses; on ne remarqua point d'éjections de boue, mais une chaleur intense au fond de la mer et de petits bassins d'eau tenant en dissolution de l'acide sulfurique. Cette région mérite d'être explorée attentivement. Le phénomène que nous venons de décrire n'a nul rapport avec l'activité volcanique du *Cerro-de-Buen-Tiempo*, dans la chaîne californienne des Cascades, ou avec celle du mont Élias (93).

J'ai retracé jusqu'ici, dans leur intime connexité, tous les signes qui manifestent la vie volcanique de notre planète, et montré la gradation du grand et mystérieux phénomène qu'enfante la réaction de l'intérieur de la Terre contre sa surface recouverte de végétaux et d'organismes vivants. Aux effets dy-

namiques des tremblements de terre et des ébranlements ont succédé les sources thermales et les salses, c'est-à-dire les phénomènes qui déterminent, avec ou sans inflammation spontanée, l'élévation persistante de température communiquée aux sources d'eau ou aux émanations gazeuses, et la diversité des combinaisons chimiques. La réaction du dedans au dehors a son expression la plus haute et la plus complexe dans les volcans, qui produisent par la voie sèche les grands effets si divers de la formation cristalline. Et, pour cela, ils ne se bornent pas à dissoudre et à détruire; ils se présentent aussi comme agents créateurs, et soumettent les substances à des combinaisons nouvelles. Une partie considérable de roches très-récentes, si ce ne sont les plus récentes, est l'œuvre de l'activité volcanique, soit que, comme cela est encore le cas sur plusieurs points de la Terre, les masses liquéfiées s'élancent des échafaudages en forme de cône ou de dôme, que la nature a disposés pour cet usage, soit que, dans la jeunesse de notre planète, les roches basaltiques et trachytiques se soient fait jour directement et sans échafaudage, près des couches sédimentaires, à travers un réseau de failles ouvertes à la surface de la Terre.

J'ai mis un grand soin à déterminer exactement les points où se sont longtemps conservées les communications entre l'atmosphère et l'intérieur du globe; il me reste à faire le relevé de ces points, à séparer des nombreux volcans qui ont été actifs à des époques historiques, mais fort reculées, ceux qui le sont en-

core aujourd'hui, et à partager les derniers en deux classes, suivant qu'ils appartiennent aux continents ou aux îles. Si tous les volcans que je crois devoir comprendre dans cette récapitulation, pour former ce que l'on appelle le nombre limite ou la limite inférieure des volcans actifs, exerçaient simultanément leur activité, ils auraient certainement une remarquable influence sur la composition de l'atmosphère, sur ses conditions climatologiques et surtout électriques. Mais les intervalles des éruptions en diminuent l'effet, et le renferment le plus souvent dans des localités circonscrites. Lors des grandes éruptions, il se forme autour des cratères, par suite de l'évaporation, des orages volcaniques, accompagnés d'éclairs et d'averses violentes, qui souvent dévastent les environs; mais ce phénomène atmosphérique n'a point de conséquences générales. Le remarquable obscurcissement qui, en 1783, couvrit pendant plusieurs mois, du mois de mai au mois d'août, une partie considérable de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique septentrionale, tandis que le ciel restait pur et sans nuage sur les hautes montagnes de la Suisse, fut attribué, il est vrai, et l'est souvent encore à la grande activité volcanique de l'Islande et aux tremblements de terre de la Calabre, mais l'étendue du phénomène rend cette origine fort invraisemblable pour moi. On doit reconnaître cependant que les tremblements de terre, lorsqu'ils embrassent un vaste espace, peuvent avoir, sur l'avance de la saison des pluies, une influence plus

vraisemblable que le fait isolé d'une éruption volcanique, c'est ce que l'on a vu sur le plateau de Quito et à Riobamba en février 1797, dans la partie Sud-Est de l'Europe et dans l'Asie Mineure, durant le printemps de 1856.

Dans le Tableau qui suit, le premier chiffre de la dernière colonne indique le nombre des volcans précédemment cités; le second chiffre, placé entre parenthèses, marque combien d'entre eux ont donné des preuves récentes d'activité volcanique.

NOMBRE DES VOLCANS RÉPARTIS SUR LA SURFACE DU GLOBE.

LIEUX.	NOMBRE		PAGES
I. Europe	7	(4)	380
II. Iles de l'océan Atlantique	14	(8)	383
III. Afrique	3	(1)	387
IV. Asie continentale	25	(15)	
1. Asie occidentale et centrale.	11	(6)	390
2. Presqu'île du Kamtschatka.	14	(9)	398
V. Iles de l'Asie orientale	69	(54)	406
VI. Iles de l'Asie méridionale	120	(56)	421
VII. Océan Indien	9	(5)	428
VIII. Mer du Sud	40	(26)	434
IX. Amérique continentale	115	(53)	
1. Amérique du Sud	56	(26)	
Chili	24	(13)	314-321
Pérou et Bolivie	14	(3)	314-319
Quito et la nouvelle Grenade.	18	(10)	314-317
2. Amérique centrale	29	(18)	300-305
3. Mexique, au sud du rio Gila.	6	(4)	306-309 et 452
4. Partie nord-ouest de l'Amérique, au nord du Gila..	24	(5)	453
Antilles (94)	5	(3)	note 94.
	407	(225)	

Ce long travail, pour lequel je me suis fait un devoir de remonter aux sources, c'est-à-dire aux relations de voyages des géologues et des géographes, constate que, sur 407 volcans, 225 ont donné, dans les temps modernes, des témoignages d'activité. Les listes antérieures des volcans actifs en contenaient les unes 30, les autres 50 de moins (95), parce qu'elles étaient composées d'après des principes différents. Je n'ai cependant fait entrer dans cette catégorie que les volcans qui ont exhalé des vapeurs ou qui ont eu, dans le XIXᵉ siècle ou dans la seconde moitié du XVIIIᵉ, des éruptions historiquement constatées. Il existe, il est vrai, des volcans dont l'activité s'est réveillée après des intervalles de quatre cents ans et plus; mais ces phénomènes sont extrêmement rares. On peut suivre la longue série des grandes éruptions du Vésuve, dans les années 79, 203, 512, 652, 983, 1138 et 1500. Pour l'Epomeo d'Ischia, on ne connaît, antérieurement à la grande éruption de 1302, que celles des années 36 et 45 avant l'ère chrétienne.

Strabon, qui mourut sous Tibère, à l'âge de 90 ans, 99 ans après que Spartacus se fut retranché sur le Vésuve, et qui n'avait aucune connaisance historique d'éruptions antérieures, déclare cependant que cette montagne est un ancien volcan depuis longtemps éteint. « Ces lieux, dit-il, en parlant d'Herculanum et de Pompéi, sont dominés par le Vésuve, entouré de riches campagnes, excepté à son sommet, dont la majeure partie offre une surface plane, com-

plétement stérile, qui a l'aspect d'un monceau de cendres. Au milieu de rochers de couleur sombre, qui semblent avoir été consumés par le feu, on aperçoit des couches crevassées. On serait tenté de croire que ces lieux ont brûlé jadis, et qu'ils renfermaient des cratères de feu, où l'incendie s'est éteint faute d'aliment (96). » Cette description ne mentionne ni le cône de cendres ni la dépression en forme de cratère de l'ancien sommet, dont les remparts purent fournir un refuge à Spartacus et à ses gladiateurs (97).

Diodore de Sicile, contemporain de César et d'Auguste, en racontant les voyages d'Hercule et ses combats avec les géants dans les champs Phlégréens, dépeint ce que, dit-il, on appelle aujourd'hui le Vésuve, comme une éminence (λόφος) semblable à l'Etna de la Sicile, qui jadis a vomi des flammes en abondance et a conservé encore des traces de son ancien embrasement (98). Il désigne tout l'espace compris entre Cumes et Neapolis sous le nom de champs Phlégréens. Polybe avait étendu ce nom à l'espace plus vaste encore qui va de Capoue à Nola (99). De son côté, Strabon, qui décrit avec tant de vérité locale la contrée voisine de Puteoli (Dicæarchie), dans laquelle est située la grande solfatare, l'appelle Ἡφαίστου ἀγορά (100); c'est à cette contrée que plus tard on a généralement limité la dénomination de φλεγραῖα πεδία, et aujourd'hui encore les géognostes opposent, sous le rapport de la composition minéralogique, les laves qui couvrent les champs Phlégréens à celles qui entourent le Vé-

suve. Cette même opinion qu'il y eut, à une époque lointaine, du feu sous le Vésuve, et que cette montagne a été jadis en éruption, se retrouve exprimée de la manière la plus formelle dans un passage de l'Architecture de Vitruve, auquel on n'a point fait assez attention jusqu'à ce jour (1) : « Non minus etiam memoratur antiquitus crevisse ardores et abundavisse sub Vesuvio monte, et inde evomuisse circa agros flammam. Ideo que nunc qui spongia sive pumex Pompeianus vocatur, excoctus ex alio genere lapidis, in hanc redactus esse videtur generis qualitatem. Id autem genus spongiæ, quod inde eximitur, non in omnibus locis nascitur, nisi circum Ætnam et collibus Mysiæ qui a Græcis κατακεκαυμένοι nominantur. » Les recherches de Bœckh et de Hirt ont mis hors de doute que Vitruve vécut sous Auguste (2), c'est-à-dire au moins un siècle avant l'éruption du Vésuve qui coûta la vie à Pline l'Ancien. Ce fait acquis donne un grand intérêt au passage que je viens de citer, et en particulier à l'expression *pumex Pompejanus*, qui rattache l'idée de pierre ponce à celle de Pompéi; par là peut être éclaircie la question de savoir si, d'après l'ingénieuse conjecture de Léopold de Buch, Pompéi n'a été recouverte que par le tuf ponceux, de formation sous-marine, soulevé en même temps que le sommet, et dont les couches horizontales s'étendent sur toute la surface du pays, entre la chaîne des Apennins et la côte occidentale, depuis Capoue jusqu'à Sorrente, depuis Nola jusqu'au delà de Naples, ou si le Vésuve,

contrairement à ses habitudes actuelles, a tiré la ponce de son propre fonds ?

Carmine Lippi (3), qui, en 1816, attribuait à une inondation le tuf sous lequel est ensevelie Pompéi, aussi bien que son ingénieux adversaire, Archangelo Scacchi, dans la lettre qu'il a adressée au chevalier Francisco Avellino en 1843, ont attiré l'attention sur ce remarquable phénomène, qu'une partie des pierres ponces de Pompéi et de la Somma renferment de petits morceaux de calcaire qui n'ont pas perdu leur acide carbonique, ce qui, à vrai dire, ne doit pas exciter beaucoup de surprise, si ces morceaux de calcaire étaient soumis à une grande pression, pendant le cours de leur formation ignée. J'ai eu l'occasion de voir des échantillons de ces ponces, dans l'intéressante collection géologique de mon savant ami et collègue le docteur Ewald. La similitude de la composition minéralogique, sur deux points opposés, peut donner lieu de se demander si, dans l'éruption de l'année 79, la couche qui recouvre Pompéi a été précipitée le long de la pente de la Somma, comme le veut Léopold de Buch, ou si, comme l'affirme Scacchi, le cratère du Vésuve nouvellement ouvert a déversé simultanément de la pierre ponce du côté de Pompéi et sur la Somma. La substance désignée au temps de Vitruve, c'est-à-dire d'Auguste, sous le nom de *pumex Pompeianus*, nous amène aux éruptions antérieures à Pline. Ce que nous savons des changements qu'ont subis les formations, dans les différents âges et suivant les différents états de l'activité volcanique, nous autorise

aussi peu à nier formellement que le Vésuve, depuis sa naissance, n'ait jamais produit de ponce qu'à admettre d'une manière absolue que la ponce, c'est-à-dire un minéral pyrogène à l'état fibreux ou poreux, ne peut se former que là où l'obsidienne ou le trachyte existent conjointement avec le feldspath vitreux ou sanidine.

Si, d'après les exemples que j'ai cités des longs intervalles après lesquels peut se réveiller l'activité assoupie des volcans, il reste beaucoup d'incertitude sur l'avenir de ceux qui semblent éteints, il n'en est pas moins très-important de constater, à une époque déterminée, la distribution géographique des volcans actifs. Sur les 225 gouffres qui, au milieu du XIXe siècle, mettent l'intérieur liquéfié du globe en communication avec l'atmosphère, 70, c'est-à-dire un peu moins d'un tiers appartiennent aux continents, et 155 aux îles. Des 70 volcans continentaux, 53, ou les trois quarts, sont situés en Amérique, 15 en Asie, 1 ou 2 dans la partie de l'Afrique qui nous est connue; il n'y en a qu'un seul en Europe. C'est dans les îles de l'Asie méridionale, dans les archipels de la Sonde et des Moluques, ainsi que dans les îles Aléoutiennes et les îles Kouriles qui se rattachent à l'Asie, que se trouvent réunis, sur un plus petit espace, le plus grand nombre de volcans insulaires. Sur toute la surface terrestre, la zone dirigée du Sud-Est au Nord-Ouest, entre 75° de longitude occidentale et 125° de longitude orientale, entre 47° de latitude australe et 66° de

latitude boréale, qui comprend la partie occidentale de l'océan Pacifique, est la plus riche en volcans.

Si, se plaçant toujours à un point de vue cosmologique, on se représente le golfe immense que l'on a coutume d'appeler la mer du Sud ou l'océan Pacifique, borné au Nord par le parallèle du détroit de Béring, au Sud par celui de la nouvelle Zélande qui sépare le Chili de la Patagonie, on trouve ce remarquable résultat, que le bassin ainsi formé, en y joignant les côtes de l'Asie et de l'Amérique qui en dessinent le contour, contient 7/8 des volcans actifs, c'est-à-dire 198 sur 225. Les volcans les plus voisins des pôles sont, d'après l'état actuel des connaissances géographiques : dans l'hémisphère boréal, le volcan Esk, de la petite île Jan Mayen (latit. 71° 1′, longit. 9° 51′ Ouest de Paris); dans l'hémisphère austral, le mont Erebus qui vomit des flammes rougeâtres, visibles même en plein jour (latit. 77° 33′, longit. 164° 38′ Est de Paris). En 1841, sir James Ross, dans son grand voyage de découvertes aux régions australes, a trouvé l'Erebus haut de 11 633 pieds, c'est-à-dire plus élevé de 225 pieds que le pic de Ténériffe (4).

L'abondance relative des volcans répandus dans les îles et sur les côtes des continents a dû attirer de bonne heure l'attention des géognostes. J'ai déjà mentionné ailleurs la théorie compliquée d'un historien contemporain d'Auguste, de Trogue Pompée, d'après laquelle le feu volcanique serait ravivé par l'eau de la mer. Les effets chimiques et mécaniques,

produits par le voisinage de la mer, ont trouvé des défenseurs jusqu'à nos jours, et l'ancienne hypothèse de la filtration des eaux dans le foyer volcanique a paru reposer sur un fondement plus ferme, lorsque Davy découvrit les bases métalliques des terres ; mais Davy lui-même abandonna bientôt cette hypothèse, vers laquelle inclinait Gay-Lussac malgré la rareté ou l'absence complète de l'hydrogène (5). Je serais tenté d'attribuer plus de vraisemblance aux causes mécaniques ou plutôt dynamiques, soit qu'on les cherche dans le soulèvement des continents, et dans les rides ou l'inégale épaisseur de l'écorce terrestre. On peut admettre, en effet, que les dépressions produites dans le lit de la mer lors du soulèvement des continents, aient déterminé sur les côtes, qui élèvent au-dessus de la mer leurs pentes plus ou moins escarpées, des failles établissant une communication entre le dedans et le dehors du globe. A l'intérieur des continents, loin des dépressions formées par le bassin océanique, les mêmes causes de rupture n'existent pas. Les volcans suivent la direction des rivages, tantôt sur une seule ligne, tantôt sur deux et même trois lignes parallèles. Ces lignes sont reliées entre elles par de petites chaînes transversales, élevées sur des failles également transversales et qui forment les nœuds de montagnes. Souvent, mais non pas toujours, la chaîne la plus voisine de la mer est la plus active, tandis que les chaînes plus intérieures paraissent éteintes ou près de s'éteindre. Quelquefois on croit remarquer que, dans une même rangée de

volcans, la fréquence des éruptions augmente ou diminue, suivant une direction déterminée. Mais le réveil de l'activité volcanique vient, après de longs intervalles, démentir ces conjectures.

Comme, faute d'avoir déterminé avec certitude la position des volcans et les points de la côte dont ils sont le plus proches, ou pour n'avoir pas tenu assez compte de ces calculs, il s'est répandu des notions fort inexactes sur les intervalles qui existent entre les bords de la mer et les lieux où se manifeste l'activité volcanique, je donne ici ces distances en milles géographiques de 15 au degré. Dans les Cordillères de Quito, le Sangay, dont les éruptions sont incessantes, est le plus oriental de tous les volcans; il n'est cependant qu'à 28 milles de la mer. Des moines fort instruits, attachés aux missions des *Indios Andaquies* qui habitent l'Alto Putumayo, m'ont assuré avoir vu fumer une montagne conique d'une faible hauteur, sur le cours supérieur du Rio de la Fragua, l'un des affluents du Caqueta, à l'est de la Céja (6); la distance de ce volcan aux côtes serait de 40 milles. Le volcan mexicain le Jorullo, soulevé en septembre 1759, est à 21 milles du point le plus rapproché du rivage; le Popocatepetl à 33 milles; un volcan éteint, situé sur la cordillère orientale de la Bolivie, dans la vallée de Yucai, près de San Pedro de Cacha, est à plus de 45 milles (7). Les volcans du Siebengebirge, près de Bonn, et ceux de l'Eifel, sont séparés de la mer par des distances de 33 et de 38 milles (8). Pour ceux de l'Auvergne, du Velay et

du Vivarais (9), que l'on peut considérer comme formant trois groupes séparés, le groupe du Puy-de-Dôme, y compris les monts Dore, celui du Cantal, celui du Puy-et-Mezenc, les distances respectives sont de 37,29 et 21 milles. Les volcans éteints d'Olot, situés au sud des Pyrénées, à l'ouest de Gerona, d'où sont sorties des coulées de lave faciles à reconnaître et quelquefois divisées, sont à 7 milles seulement des côtes de la Catalogne. Au contraire, on ne compte pas moins de 150 à 170 milles entre les volcans bien constatés des Rocky-Mountains qui, suivant toute apparence, sont très-récemment éteints, et le littoral de l'océan Pacifique.

Un phénomène très-anomal dans la distribution géographique des volcans est l'existence au milieu de la chaîne du Thian-schan ou Montagnes-Célestes, entre les deux chaînes parallèles de l'Altaï et du Kouen-lun, de volcans ayant donné des preuves historiquement certaines de leur activité, et qui peut-être même brûlent encore. Guidé par les ingénieuses et savantes recherches d'un sinologue éminent, Stanislas Julien, j'ai pu traiter en détail, dans l'*Asie centrale*, de ces volcans dont Abel Rémusat et Klaproth ont les premiers reconnu l'existence (10). Le Pe-schan, ou Montagne-Blanche, qui a vomi des coulées de lave, et le volcan encore enflammé de Tourfan, ou Hotscheou, sont à des distances presque égales des côtes de la mer Glaciale et de celles de la mer des Indes, à 370 milles des premières et 380 milles des secondes. Il est vrai d'ajouter que le Pe-schan, dont les érup-

tions de lave sont énumérées distinctement dans les ouvrages chinois, depuis l'année 89 de notre ère jusqu'au commencement du VIIe siècle, n'est séparé du lac alpestre Issikoul, sur la pente du Temourtoutagh, ou partie occidentale de Thian-schan, que par 43 milles, et par 52 milles du lac Balkasch, situé plus au Nord, et qui n'a pas moins de 37 milles de longueur (11). Le grand lac Dsaisang, dans la Dsoungarie chinoise, près duquel je me trouvai en 1829, est à 90 milles des volcans du Thian-schan. Ainsi les eaux intérieures ne manquent pas; mais elles sont plus éloignées que ne l'est la mer Caspienne du volcan encore actif de Demavend, dans le Mazenderan persique.

Si les masses d'eau, soit océaniques, soit intérieures, ne sont point nécessaires à l'entretien de l'activité volcanique, il est vraisemblable, comme j'incline à le croire, que les îles et les côtes sont plus riches en volcans parce qu'aux soulèvements causés par les forces élastiques intérieures répond un affaissement dans le lit des mers (12). De là il résulte que les gonflements et les dépressions sont limitrophes, et qu'il se produit des failles profondes et de vastes crevasses, sur la limite qui les sépare. Rien n'empêche donc d'admettre que, dans la zone de l'Asie centrale qui s'étend de 41° à 48° de latitude, la grande dépression Aralo-Caspienne et le nombre considérable de lacs rangés en file ou épars entre le Thian-schan et l'Altaï-Kourtschoum ont pu donner naissance aux mêmes phénomènes que la proxi-

mité des côtes de la mer. On sait par tradition que tous ces petits lacs, que l'on a nommés *lacs à chapelet*, ne formaient autrefois qu'un vaste bassin. On voit encore de grands lacs se diviser, par la disproportion des eaux qu'elles reçoivent et de celles que leur enlève l'évaporation. Un voyageur qui a longtemps étudié la steppe des Khirgises, le général Genz, supposait une communication hydraulique entre le lac Aral, l'Aksakal, le Sary-Kupa et le Tschagli. On remarque, dans la direction du Sud-Ouest au Nord-Est, un grand sillon que l'on peut suivre au delà d'Omsk, entre l'Irtysch et l'Obi, d'abord à travers la steppe des Barabintsky, semée de lacs nombreux, puis à travers les plaines marécageuses des Samoyèdes, jusque vers Beresow et les côtes de la mer Glaciale. A ce sillon se rattache peut-être une ancienne tradition fort répandue, d'après laquelle il aurait existé à l'est et au sud d'Hami un grand lac amer, nommé aussi Mer-Desséchée (Hanhai). On rapporte que du milieu de ce lac est sortie, comme une île, une partie du Gobi, dont le centre couvert de lacs salés et de marécages n'est élevé, d'après les mesures barométriques fort exactes du docteur de Bunge, que de 2400 pieds au-dessus du niveau de l'Océan. Un fait géologique qui n'a pas assez excité l'attention jusqu'à ce jour, c'est que des veaux marins, tout pareils à ceux qui habitent en troupes la mer Caspienne et le Baïkal (13), se retrouvent à 100 milles géographiques, dans le petit lac d'Oron, rempli d'eau douce, et qui n'a que quelques milles de circonférence, tandis qu'il n'en existe

pas dans la Léna, bien que la rivière Witim, l'un de ses affluents, soit en communication avec le lac d'Oron (14). L'isolement où vivent aujourd'hui ces animaux, la distance qui les sépare de l'embouchure du Volga, distance égale à 900 milles géographiques, est un phénomène géologique remarquable, qui témoigne d'un vaste et antique système de communication entre les eaux. Les immenses et nombreuses dépressions qu'a subies le sol de l'Asie centrale auraient-elles eu, par exception, la même influence sur le gonflement continental, et créé les mêmes relations que produit, sur les rivages, aux bords des failles de soulèvement, l'affaissement du lit des mers?

Des Rapports dignes de confiance, adressés à l'empereur Kanghi, nous ont révélé l'existence d'un volcan éteint, situé à une grande distance vers l'Est, dans la partie nord-ouest de la Mandchourie, aux environs de Mergen, probablement par 48° 50′ de latitude et 120° de longitude Est de Paris. Le mont Bo-schan ou Oujoun-Holdongi (les neuf collines), situé au sud-ouest et à trois ou quatre lieues de Mergen, a vomi des scories et des laves, dans le mois de janvier 1721. Les collines formées par l'amoncellement des scories avaient, au dire des personnages chargés par l'empereur Kanghi d'explorer les lieux, un périmètre de six milles géographiques. Il est dit aussi dans le Rapport qu'une coulée de lave avait donné naissance à un lac, en arrêtant le cours de la rivière Oudelin. D'après des Relations chinoises

moins circonstanciées, le Bo-schan avait eu une éruption de flammes, au VIIe siècle de notre ère. Cette montagne est environ à 105 milles géographiques de la mer; c'est plus de trois fois la distance du Jorullo aux côtes les plus voisines, et à peu près celle de l'Himalaya (15). Ces renseignements géognostiques sur la Mandchourie sont dus aux recherches de M. P. Wassiljew (16) et à celles de Semenow, le savant traducteur du grand ouvrage de Charles Ritter, qui a inséré un Mémoire sur ce sujet dans le XVIIe volume de la Collection publiée par la Société impériale de Géographie.

A propos de la distribution géographique des volcans, répartis en plus grand nombre dans les îles et sur les côtes, ou, ce qui revient au même, à propos des éminences qui bordent le soulèvement des continents, on a fait entrer en ligne de compte une inégalité vraisemblable dans l'épaisseur de la croûte terrestre. On incline, en général, à croire que la surface de la masse en fusion est plus rapprochée de la surface terrestre sur les points où ont surgi les volcans. Mais comme on peut admettre plusieurs degrés de consistance dans la matière qui tend à se solidifier, il est difficile de se représenter assez clairement cette surface de la masse en fusion, pour être en droit de considérer comme la cause principale de toutes les éruptions, des failles, des soulèvements, des dépressions, un changement local de capacité dans l'écorce terrestre déjà parvenue à l'état solide. Si l'on était autorisé à déterminer ce qu'on appelle l'épaisseur de

la croûte terrestre, d'après les observations faites sur les puits artésiens et d'après la température de fusion du granite, en supposant que la température intérieure du globe suit une proportion arithmétique (17), on trouverait que l'épaisseur de l'écorce terrestre est égale à 5 milles géographiques et $\frac{2}{10}$, c'est-à-dire à $\frac{1}{329}$ du diamètre polaire (18). Mais les effets de la pression et de la conductibilité, variable suivant les roches, font supposer qu'à mesure que la profondeur augmente, l'accroissement de la chaleur devient moins rapide.

Malgré le très-petit nombre de points sur lesquels l'intérieur du globe est actuellement en communication active avec l'atmosphère, il n'est pas sans intérêt de rechercher de quelle manière et dans quelle mesure les exhalaisons gazeuses agissent sur la composition chimique de l'air, et par suite sur la vie organique qui se développe à la surface du sol. Avant tout, il faut tenir compte de ce fait, que les gaz s'échappent moins des cratères placés au sommet des montagnes que des petits cônes d'éruptions et des fumaroles qui entourent un si grand nombre de volcans, et couvrent des espaces considérables. Des contrées entières en Islande, dans le Caucase, sur le plateau de l'Arménie, à Java, dans les îles Galapagos, dans les îles Sandwich, et dans la Nouvelle-Zélande, manifestent sans interruption leur activité par des solfatares, des sources de naphte et des salses. Les régions volcaniques réputées éteintes peuvent être aussi considérées comme des sources de gaz, et

bien que les champs de laves qui sont sortis des volcans continuent à émettre, pendant des années entières, des vapeurs visibles et invisibles, il est probable que le jeu silencieux des forces souterraines qui composent et décomposent est plus productif, sous le rapport de la quantité, que les éruptions, phénomènes plus grandioses et plus retentissants à coup sûr, mais plus rares. Si l'on croit pouvoir négliger ces petits phénomènes chimiques, parce que l'addition de parties insignifiantes, relativement à l'immense volume de l'atmosphère, continuellement agitée par des courants, ne saurait altérer sensiblement sa constitution primitive (19), nous rappellerons l'influence puissante que, d'après les belles recherches de Percival, de Saussure, de Boussingault et de Liebig, trois ou quatre dix millièmes d'acide carbonique répandus dans l'atmosphère peuvent exercer sur l'existence de l'organisme végétal. On sait, par les belles recherches de Bunsen sur les gaz volcaniques, que les émissions des fumaroles varient suivant les diverses périodes de leur activité et les circonstances locales. Celles de l'Hécla, par exemple, donnent 0,81 à 0,83 d'azote, et les coulées de lave de cette montagne en dégagent 0,78, avec une faible trace d'acide carbonique (0,01 à 0,02). D'autres fumaroles, également situées en Islande, près de Krisouvik, donnent de 0,86 à 0,87 d'acide carbonique, avec 0,01 à peine d'azote (20). D'après l'important travail de Charles Sainte-Claire Deville et de Bornemann, sur les émanations gazeuses dans l'Italie mé-

ridionale et en Sicile, les exhalaisons d'une faille profondément creusée dans le cratère de Vulcano contiennent une grande quantité d'azote (0,98), mais il s'y trouve aussi des vapeurs sulfureuses, avec un mélange de 74,7 d'azote et 18,5 d'oxygène. Ce mélange ne diffère pas beaucoup du mélange atmosphérique. Le gaz qui s'échappe de la source Acqua-Santa, près de Catane (21), est au contraire de l'azote pur, en tout semblable au gaz qu'exhalaient les volcancitos de Turbaco, lors de mon voyage en Amérique (22).

Toute la quantité d'azote que l'activité volcanique rejette dans l'atmosphère est-elle introduite dans les volcans par les pluies météoriques, ou existe-t-il des sources d'azote cachées sous les profondeurs de la Terre? Il est bon de rappeler à ce sujet que, d'après mes propres expériences, l'air contenu dans l'eau de pluie renferme, non pas, comme l'air que nous respirons, 0,79 d'azote, mais seulement 0,69. L'azote est une source féconde de production pour le sel ammoniac, par le moyen des décharges électriques, presque journalières dans les régions tropicales (23). L'influence de l'azote sur la végétation est semblable à celle du substratum de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère.

Boussingault, en analysant les gaz des volcans voisins de l'équateur, du Tolima, du Puracé, des volcans de Pasto, de Tuquerès et de Cumbal, a trouvé de l'acide carbonique et du gaz hydrogène sulfuré, avec une grande quantité de vapeur d'eau, mais il

n'a point trouvé d'acide muriatique, non plus que de l'azote, ou de l'hydrogène en liberté (24). L'influence que l'intérieur du globe exerce encore actuellement sur la composition chimique de l'atmosphère, par des substances qu'il lui a d'ailleurs empruntées pour les lui rendre sous une autre forme, n'est certainement qu'une partie insignifiante des révolutions chimiques que doit avoir subies l'atmosphère, dans les temps primitifs, par suite du soulèvement de grandes masses rocheuses au-dessus des failles terrestres. En comparant la profondeur des houillères avec la couche de charbon que les forêts les plus épaisses de la zone tempérée ajouteraient au sol en cent ans, et qui, d'après le calcul de Chevandier, ne dépasse pas sept lignes, on est disposé à beaucoup mieux accueillir cette conjecture, vraisemblable en elle-même, que l'enveloppe gazeuse de la Terre dut contenir jadis une très-grande quantité d'acide carbonique (25).

Dans l'enfance de la géognosie, avant les ingénieuses hypothèses de Dolomieu, on ne plaçait pas la source de l'activité volcanique dans les plus anciennes formations, que l'on croyait être le granite et le gneiss. Longtemps on pensa, d'après quelques faibles analogies d'inflammabilité, que la source des éruptions volcaniques et des émanations gazeuses qui en sont la conséquence durant plusieurs siècles doit être cherchée dans les couches sédimentaires de formation plus récente, qui contiennent des matières combustibles et appartiennent au groupe silurien

supérieur. Une connaissance plus générale de la surface terrestre, des recherches mieux conduites et plus approfondies, surtout les services qu'ont rendus à la géologie les découvertes de la chimie moderne, ont jeté un nouveau jour sur ces questions. On sait aujourd'hui que les trois grands groupes de roches volcaniques ou éruptives, le trachyte, le phonolithe et le basalte, quoique différents d'âge et le plus souvent fort séparés l'un de l'autre, en tant que grandes masses, se sont tous fait jour à la surface de la Terre après les formations plutoniques, telles que le granite, le diorite et le porphyre quartzifère, et après toutes les formations siluriennes, secondaires, tertiaires et quartiaires ou pléistocènes; on sait même qu'elles traversent souvent les lits désagrégés de conglomérats diluviens et de brèches osseuses. Tous ces modes de percements divers se trouvent réunis en Auvergne, dans un espace circonscrit, ainsi que l'a remarqué Rozet (26); car bien que les grandes masses trachytiques du Cantal, du Mont-Dore et du Puy-de-Dôme traversent le granite lui-même, et renferment çà et là, par exemple entre Vic et Aurillac et sur le *Giou-de-Mamon*, de grands fragments de gneiss et de calcaire (27), on voit pourtant aussi le trachyte et le basalte pousser des filons à travers le gneiss et les roches carbonifères de couches tertiaires et diluviennes. Le basalte et le phonolithe, étroitement unis entre eux, comme le prouvent les Mittel-Gebirge de la Bohême et les montagnes de l'Auvergne, sont de formation plus ré-

cente que les trachytes, qui souvent sont percés par des filons de basalte (28). Mais à son tour le phonolithe est plus ancien que le basalte, dans lequel il est vraisemblable qu'il ne pousse jamais de filons, tandis qu'au contraire des filons de basalte percent souvent le porphyre schisteux ou phonolithe. Sur les Andes de Quito, je n'ai guère trouvé la formation basaltique loin des trachytes qui dominent dans ces montagnes que sur le Rio-Pisque et dans la vallée de Guaillabamba (29).

Comme, sur le plateau volcanique de Quito, tout est recouvert de trachyte, de conglomérats trachytiques et de tufs, je m'appliquai avec ardeur à découvrir un point où l'on pût reconnaître au-dessus de quelle roche plus ancienne sont placées les puissantes montagnes en forme de cônes et de cloches, ou, pour parler plus clairement, quelles roches elles ont brisées. Je pus satisfaire ce désir, au mois de juin 1802, lorsque, en partant de Riobamba Nuevo, élevé de 8 898 pieds au-dessus de l'océan Pacifique, je tentai de gravir le Tunguragua, du côté de la *Cuchilla-de-Guandisava*. J'étais sorti du charmant village de Penipe, par le pont de cordes vacillant (puente de maroma) du Riô-Puela, et je me dirigeais vers la *Hacienda-de-Guansce*, située solitairement à 7440 pieds de hauteur, en face de la jonction de Rio-Blanco et de Rio-Chambo, près de l'endroit où s'élève, du côté du Sud-Est, une magnifique colonnade de trachyte noir semblable à du pechstein. De loin, on croit voir les carrières basaltiques d'Unkel. Sur le

Chimborazo, un peu au-dessus du bassin de Jana-Cocha, je vis des colonnes de trachyte groupées de la même manière, bien que plus hautes et moins régulières. Au sud-est de Penipe, la plupart des colonnes ont cinq faces; leur diamètre n'est que de 14 pouces; souvent elles sont courbées et divergentes. Au pied des trachytes noirs de Penipe, près de l'embouchure du Rio-Blanco, se présente un phénomène très-inattendu dans cette partie des Cordillères : c'est du schiste micacé d'un blanc verdâtre, contenant des grenats, et plus loin, au delà de la petite rivière marécageuse de Bascaguan, près du Rio-Puela et de la Hacienda-de-Guansce, du granite à grain moyen, avec du feldspath d'un rouge clair, un peu de mica d'un vert noirâtre et beaucoup de quartz d'un blanc gris, plongeant vraisemblablement sous le schiste micacé. Il n'y a point de hornblende, non plus que de syénite. Les trachytes de Tunguragua, semblables à ceux du Chimborazo par leur constitution minéralogique, ont percé aussi le granite et le schiste micacé. Plus loin, vers le Sud, un peu à l'est du chemin qui conduit de Riobamba-Nuevo à Guamote et à Ticsan, et vers l'endroit où la Cordillère se détourne de la côte, apparaissent partout au pied de l'Altar de los Collanes, du Cuvillan et du Paramo del Hatillo, les roches autrefois réputées primitives, c'est-à-dire le schiste micacé et le gneiss. Avant l'arrivée des Espagnols, et même avant que la domination des Incas s'étendît aussi loin vers le Nord,

les naturels avaient exploité, dit-on, dans le voisinage des volcans, quelques dépôts métallifères. On observe, un peu au sud de San-Luis, de nombreux filons de quartz qui traversent un schiste argileux verdâtre. Près de Guamote, à l'entrée de la plaine herbeuse de Tiocaxa, nous trouvâmes de grandes masses de gestellstein ou quartzite très-pauvre en mica, dont la structure montre des lignes parallèles bien déterminées, et qui inclinent régulièrement de 70° vers le Nord. Plus loin, du côté du Sud, tout près de Ticsan, et à peu de distance d'Alausi, le *Cerro Cuello de Ticsan* présente des masses considérables de soufre encaissées dans un lit de quartz, lequel est subordonné à des couches adjacentes de schiste micacé. A première vue, cette expansion de quartz dans le voisinage de volcans trachytiques a quelque chose qui dépayse. Mais les excellents travaux dont le Sangay a été l'objet de la part d'un géologue français, M. Sébastien Wisse, ont confirmé, 47 ans plus tard, les observations que j'avais faites, au pied du Tunguragua, sur la superposition ou plutôt sur l'éruption du trachyte à travers le schiste micacé et le granite, phénomène aussi rare dans les Cordillères qu'il est commun en Auvergne.

Le Sangay, plus haut de 1 260 pieds que le Mont-Blanc, et complétement dépourvu de coulées de lave, caractère commun au Stromboli, suivant Charles Deville, mais qui rejette sans interruption, du moins depuis 1728, des pierres noires, souvent enflammées, forme, au milieu des couches de granite et de gneiss, une île trachytique, ayant

au plus deux milles géographiques de diamètre (30). Les gisements de l'Eifel présentent, ainsi que je l'ai remarqué déjà, des relations tout opposées, tant sous le rapport des cratères d'explosion ou entonnoirs de mines, plongeant dans le schiste dévonien, que sous celui des échafaudages d'où s'échappent les laves, comme on le voit sur la longue croupe du Moselberg et du Gerolstein. La surface ne laisse point deviner ce que recèle l'intérieur. L'absence de trachyte dans des volcans si actifs, il y a des milliers d'années, est un phénomène plus surprenant encore. Les scories du Mosenberg, qui contiennent de l'augite, et accompagnent en plusieurs endroits les coulées de lave basaltique, renferment de petits quartiers de schiste calcinés, mais non point des fragments de trachyte. Les trachytes manquent aux alentours. Cette roche ne se montre dans l'Eifel qu'isolément, loin des cratères d'explosion et des volcans à coulées de lave (31), comme par exemple, à Sellberg, près de Quiddelbach, et dans la chaîne de Reimerath. La variété des formations que percent les volcans, pour venir exercer leur action puissante à la surface de l'écorce terrestre, n'importe pas moins à la géognosie que les substances mêmes qu'ils rejettent.

Les configurations relatives des échafaudages à travers lesquels l'activité volcanique se manifeste ou s'efforce de se manifester ont été aussi, dans ces derniers temps, approfondies et représentées beaucoup plus exactement que dans le siècle qui a précédé. A cette époque, la morphologie des volcans se bornait

aux montagnes en forme de cône ou de cloche ; elle comprend aujourd'hui toutes les variétés, souvent très-compliquées, qui peuvent s'offrir sous les zones les plus lointaines. On connaît d'une manière très-satisfaisante la structure, l'hypsométrie et le groupement d'un grand nombre de volcans, tout ce qu'un pénétrant géologue, Charles-Frédéric Naumann, appelle la *géotectonique* (32), tandis que l'on est resté dans une complète ignorance des détails relatifs à la composition des roches et à l'association des espèces minérales qui caractérisent les trachytes, et deviennent reconnaissables lorsqu'ils sont séparés de la masse principale. Cependant ces deux branches de connaissances, celle qui s'applique à la configuration des charpentes rocheuses, et celle qui a pour objet leur composition minéralogique, en d'autres termes la morphologie et l'oryctognosie des volcans, sont également nécessaires pour embrasser l'ensemble de l'activité volcanique. Peut-être même la dernière, fondée sur la cristallisation et l'analyse chimique, doit-elle être considérée comme la plus importante, en raison de ses rapports avec les roches plutoniques, à savoir le porphyre quartzifère, le grünstein et la serpentine. Ce que nous croyons connaître du volcanisme de la Terre est nécessairement borné à la configuration des volcans (33).

Si, comme je l'espère, les idées que j'exprime ici sur la classification des roches volcaniques, ou, pour parler d'une manière plus précise, sur la division des trachytes d'après leur composition, éveillent quelque

intérêt, le mérite en appartient tout entier à mon vieil ami Gustave Rose. Les observations qu'il a faites dans de vastes contrées et, pour ainsi parler, au sein de la libre nature, ainsi que l'heureuse alliance de connaissances chimiques, cristallographiques, minéralogiques, géologiques, le destinaient à répandre des vues nouvelles sur l'ensemble des minéraux dont l'association, souvent reproduite, quoique diversement combinée, est le résultat de l'activité volcanique. En particulier depuis l'année 1834, il a plusieurs fois analysé, le plus souvent à ma prière et par dévouement pour moi, les fragments que j'ai recueillis sur les volcans de la Nouvelle-Grenade, de Los Pastos, de Quito, du plateau mexicain, et les a comparés avec des échantillons d'autres contrées, conservés dans le riche cabinet minéralogique de Berlin. A cette époque (1810-1811), où mes collections n'étaient pas encore séparées de celles de mon compagnon, Aimé Bonpland; Léopold de Buch, qui se trouvait à Paris, entre son retour de la Norwége, et son départ pour Ténériffe, avait étudié ces fragments au microscope avec une attention soutenue. Déjà même auparavant, durant le séjour qu'il avait fait à Rome avec Gay-Lussac, en 1805, et plus tard, en France, il avait pris connaissance de ce que, placé en face même des volcans (juillet 1802), j'avais écrit dans mon Journal, sur quelques-unes de ces montagnes, et en général sur l'affinité entre les volcans et certains porphyres dépourvus de quartz (34). Je conserve,

comme un précieux souvenir, quelques feuilles chargées de notes touchant les produits volcaniques des hautes plaines de Quito et de Mexico, que ce grand géognoste a bien voulu me donner, il y a près de 50 ans. J'ai eu ailleurs l'occasion de développer cette pensée, que les voyageurs ne peuvent que transporter d'une contrée à une autre la science incomplète de leur temps (35). Il manque à leurs observations des idées générales d'après lesquelles ils puissent se guider, c'est-à-dire la connaissance de caractères distinctifs que peut amener le progrès de la science ; les collections ordonnées géographiquement conservent seules une valeur durable.

Restreindre, comme on l'a fait plusieurs fois, la dénomination de trachyte aux roches volcaniques contenant du feldspath, particulièrement le feldspath vitreux de Werner, la sanidine de Rose et d'Abich, en souvenir des roches de l'Auvergne et du Siebengebirge de Bonn, auxquelles ce nom fut appliqué pour la première fois, c'est rompre sans utilité l'enchaînement des roches volcaniqnes, et sacrifier les vues élevées auxquelles cet enchaînement conduit. Cette acception trop restreinte du mot trachyte autoriserait à dire que l'Etna, riche en labrador, ne possède point de trachyte ; au besoin, mes collections établiraient que cette roche n'existe presque dans aucun des innombrables volcans répandus sur les Cordillères, et que leur masse est composée d'albite. Or, comme à cette époque (1835), tout oligoclase était pris pour de l'albite, il résulterait de là que toutes les roches

volcaniques devraient être confondues sous le nom général d'andésite, par lequel on désigne l'albite mêlée d'un peu de hornblende (36). Ainsi que je l'avais fait moi-même, sous l'impression que m'avaient produite, dans mes voyages, les caractères communs à tous les volcans, en dépit des différences que peut présenter leur composition minéralogique, Gustave Rose, se plaçant à un point de vue général, a considéré, dans sa classification des trachytes, l'orthoclase, la sanidine, l'anorthite de la Somma, l'albite, le labrador et l'oligoclase comme la partie feldspathique des roches volcaniques. Cela était conforme d'ailleurs à la théorie qu'il avait exposée dans son beau Mémoire sur le groupe des feldspaths (37). Les dénominations, qui ont la prétention d'être des définitions introduisent beaucoup d'obscurité dans l'étude des roches, aussi bien que dans la chimie. J'ai moi-même été disposé pendant un temps à employer les expressions trachyte-orthoclase, ou trachyte-labrador, ou trachyte-oligoclase, et par suite à comprendre le feldspath vitreux ou sanidine dans le genre orthoclase ou feldspath commun, en raison de sa composition chimique. Ces noms, il est vrai, étaient simples et sonores, mais leur simplicité même devenait une cause d'erreur; car si la dénomination trachyte-labrador a l'avantage de nous représenter en même temps l'Etna et le Stromboli, celle de trachyte-oligoclase, dans sa double et importante liaison avec l'augite et la hornblende, a l'inconvénient d'établir une fausse connexité entre les vastes formations, du

Chimborazo et du volcan de Toluca. C'est l'association d'un élément feldspathique avec un ou deux autres qui, dans ce cas, comme dans certains remplissages de filons, détermine le caractère distinctif des roches.

Je joins ici une classification des trachytes, telle que l'a établie Gustave Rose, depuis l'hiver de 1852, d'après les cristaux que ces roches renferment, et qui sont reconnaissables quand on les en sépare. Les conclusions essentielles de ce travail, dans lequel l'oligoclase n'est jamais confondu avec l'albite, sont antérieures de dix années. A cette époque Gustave Rose avait découvert, dans ses études géognostiques sur les Riesengebirge, que l'oligoclase est une partie essentielle du granite, et avait été amené à chercher si cette substance ne joue pas le même rôle dans d'autres roches (38). Le travail de Gustave Rose amena cette importante découverte, que l'albite n'est jamais partie constituante d'une roche quelconque (39).

Première division. — « La masse principale ne contient que des cristaux de feldspath vitreux, disposés en table et de grande dimension. La hornblende et le mica, ou en sont tout à fait absents, ou n'y entrent qu'en très-petite quantité, et comme des parties purement accessoires. A cette division appartiennent : le trachyte des champs Phlégréens, dont est formé le Monte Olibano, près de Pozzuoli ; le trachyte d'Ischia et de la Tolfa, et une partie du Mont-Dore, connue sous le nom de grande Cascade. L'augite se montre quelquefois dans les trachytes du Mont-Dore, sous la forme

de petits cristaux, mais cela est très-rare (40). Dans les champs Phlégréens, on ne la rencontre jamais avec la hornblende, non plus que la leucite, dont Hoffmann et moi avons recueilli quelques fragments, Hoffmann au-dessus du *Lago-Averno*, près de la route de Cumes, moi, sur la pente du *Monte-Nuovo*, pendant l'automne de 1822 (41). Des fragments désagrégés de leucitophyre se trouvent en plus grande abondance dans l'île Procida et dans le *Scoglio-di-S.-Martino,* qui en est voisin. »

Deuxième division. — « La masse principale contient quelques cristaux de feldspath vitreux, et une quantité de petits cristaux d'oligoclase, blancs comme la neige. Ces cristaux d'oligoclase sont régulièrement entremêlés avec le feldspath vitreux, et forment une caverne autour du feldspath, comme cela se présente si souvent dans le granitite de G. Rose, espèce de granite mêlé de feldspath rouge, et surtout riche en oligoclase et en mica magnésien, mais sans aucune trace de mica potassique blanc, qui forme la masse principale du Riesengebirge et des montagnes de l'Iser. Quelquefois la hornblende et le mica s'y trouvent joints en petite quantité; quelques variétés contiennent même de l'augite. Cette division comprend : les trachytes du Drachenfels et de la Perlenhardt dans les Siebengebirge de Bonn (42); plusieurs variétés du Mont-Dore et du Cantal, ainsi que des trachytes de l'Asie Mineure, dont la connaissance est due à l'activité du voyageur P. de Tchihatchef; ceux d'Afioun Karahissar, renommé pour la culture du pavot; de Mehammed-Kjoë, en Phrygie; de Kajadscyhk et de Donanlar,

en Mysie. Dans ces trachytes, le feldspath vitreux est mêlé de beaucoup d'oligoclase, d'un peu de hornblende et de mica brun. »

Troisième division. — « La masse principale de ces trachytes dioritiques contient beaucoup de petits cristaux d'oligoclase, avec de la hornblende et du mica magnésien brun. Dans cette division rentrent les trachytes d'Égine (43); de la vallée de Kozlenik, près de Schemnitz (44); de Nagyag, en Transylvanie; de Montabaur, dans le duché de Nassau; du Stenzelberg et du Wolkenburg dans le Siebengebirge de Bonn, du Puy de Chaumont, près de Clermont en Auvergne, et du Liorant dans le Cantal. Il y faut joindre encore le Kasbegk dans le Caucase, les volcans mexicains de Toluca et d'Orizaba (45), le volcan de Puracé et les magnifiques colonnes de Pisoje, près de Popajan, bien que la nature trachytique de ces colonnes puisse être sérieusement mise en doute (46). Les domites de L. de Buch appartiennent aussi à cette division. Dans le trachyte blanc à grains fins, qui forme la masse du Puy-de-Dôme, sont empâtés des cristaux vitreux, que l'on a toujours considérés comme du feldspath, mais qui portent toujours des stries sur les faces du clivage le plus facile, et qui sont en réalité de l'oligoclase; auprès il existe de la hornblende et un peu de mica. D'après les roches volcaniques dont la collection royale de Berlin est redevable à M. Mœllhausen, attaché en qualité de dessinateur et de topographe à l'*Exploring Expedition* du lieutenant Whipple, il faut aussi rapporter à la troisième division, c'est-à-dire

aux trachytes dioritiques de Toluca, les trachytes du Mont-Taylor, entre Santa-Fé del Nuevo-Mexico et Albuquerque, ainsi que ceux de Cieneguilla, sur la pente occidentale des Montagnes-Rocheuses, à l'endroit où, d'après les belles observations de Jules Marcou, des coulées de lave noire recouvrent la formation jurassique. » Les mêmes mélanges d'oligoclase et de hornblende, que j'ai vus sur le plateau des Aztèques, dans la contrée proprement appelée Anahuac, mais non dans les Cordillères de l'Amérique méridionale, se retrouvent à l'ouest et à une grande distance des Montagnes-Rocheuses et de Zuñi, près de la rivière Mohave, l'un des affluents du Rio-Colorado (47). Parmi les échantillons des trachytes de Java que je dois à l'amitié du docteur Junghuhn, nous avons reconnu les caractères de la troisième division dans trois régions volcaniques : celles du Burung-Agung, de Tjinas et du Gunung-Parang, dans le district de Batugangi.

Quatrième division. — « La masse principale contient de l'augite et de l'oligoclase. A cette classe appartiennent : en Afrique, le pic de Ténériffe (48); au Mexique, le Popocatepetl et le Colima (49); dans l'Amérique du Sud, le volcan de Tolima, avec le Paramo de Ruiz; le volcan de Puracé, près de Popayan; ceux de Pasto et de Cumbal, à en juger d'après les fragments recueillis par Boussingault; le Rucu-Pichincha, l'Antisana, le Cotopaxi, le Chimborazo (50), le Tunguragua, ainsi que les rochers de trachyte que recouvrent les ruines de l'ancien Riobamba. Sur le Tun-

guragua, on trouve, à côté d'augites, des cristaux d'ouralite d'un vert noir, longs d'une demi-ligne à cinq lignes, avec une forme augitique parfaite et les plans de clivage de la hornblende (51). » J'ai rapporté du Tunguragua un de ces fragments avec des cristaux d'ouralite distincts, que j'ai pris à la hauteur de 12 480 pieds. G. Rose a reconnu une différence frappante entre ce fragment et les sept fragments de trachyte qui font partie de ma collection ; il estime que cet échantillon rappelle la formation du schiste vert ou porphyre augitique schisteux, que nous avons vu si répandu sur le versant asiatique de l'Oural.

Cinquième division. — « Mélange de labrador (52) et d'augite (53); trachyte doléritique. L'Etna, le Stromboli, et, d'après les excellents travaux de Charles Sainte-Claire Deville sur les trachytes des Antilles, la soufrière de la Guadeloupe, rentrent dans cette catégorie, ainsi que les trois cirques qui, dans l'île Bourbon, entourent le pic de Salazu. »

Sixième division. — « Masse principale grise, contenant des cristaux de leucite et d'augite, avec très-peu d'olivine. Le Vésuve et la Somma, les volcans éteints du Vultur et de Rocca-Monfina, les montagnes d'Albano et de Borghetto en sont des exemples. Dans la masse plus ancienne qui forme les murs et le sol de Pompéi, les cristaux de leucite sont plus gros et plus abondants que l'augite. Au contraire, dans les laves actuelles, les augites dominent, et en général la leucite est très-rare. La coulée du 22 avril 1845 en a fourni cependant une grande quantité (54). Des

fragments de trachyte appartenant à la première division et contenant du feldspath vitreux, qui sont les trachytes proprement dits de Léopold de Buch, sont empâtés dans les tufs du Monte-Somma. On en trouve aussi quelques-uns sous la couche de ponce qui recouvre Pompéi. Les trachytes-leucitophyres de la sixième division doivent être soigneusement distingués des trachytes de la première, bien que la leucite se présente aussi dans la partie occidentale des champs Phlégréens et dans l'île de Procida, comme on l'a déjà vu plus haut. »

L'ingénieux auteur de cette classification des volcans, fondée sur l'association des minéraux simples, ne prétend pas avoir épuisé les combinaisons que peut offrir la surface de la Terre, si incomplétement explorée jusqu'à ce jour, au point de vue de la géologie et de la chimie. Il faut bien s'attendre que l'on sera forcé de modifier les dénominations des minéraux associés, et même d'augmenter le nombre des formations trachytiques. Deux voies peuvent conduire à ce résultat : les progrès de la minéralogie, en tant qu'elle s'applique à distinguer spécifiquement les minéraux, d'après leur forme et leur composition chimique, et l'accroissement des collections si incomplètes d'ordinaire et le plus souvent recueillies sans but. Ici, comme dans tous les cas où les considérations cosmologiques ne peuvent s'élever aux lois générales qu'à la condition de comparer un vaste ensemble de phénomènes, il faut partir de ce principe que ce

que nous croyons savoir, d'après l'état actuel des sciences, n'est qu'une très-pauvre partie de ce que nous tient en réserve le siècle qui va venir. Les moyens ne manquent pas de hâter l'acquisition de ces connaissances; ce qui nous manque essentiellement pour explorer la partie trachytique soulevée, déprimée ou crevassée de la surface terrestre que l'Océan ne recouvre pas, c'est l'application de méthodes propres à épuiser un tel sujet.

Des volcans très-voisins l'un de l'autre et qui présentent la même forme et les mêmes échafaudages, qui se ressemblent enfin sous tous les rapports géotechtoniques, empruntent souvent à la composition et à l'association des minéraux agrégés un caractère individuel très-différent. Le long de la grande faille transversale qui joint les deux mers, de l'Est à l'Ouest, et coupe la chaîne de montagnes, ou pour mieux dire, le soulèvement montagneux, qui suit sans interruption la direction du Sud-Est au Nord Ouest, se succèdent dans l'ordre suivant: le Colima (haut. 11 262 pieds), le Jorullo (haut. 4002 pieds), le Toluca (haut. 14232 pieds) le Popocaepetl (16632 pieds) et l'Orizaba (haut. 16776 pieds). Les volcans qui se suivent immédiatement n'offrent pas la même composition caractéristique; les mêmes trachtyes se reproduisent alternativement. Le Colima et le Popocatepetl sont formés d'augite mêlée à de l'oligoclase, et présentent par conséquent le trachyte du Chimborazo et de Ténériffe. Le Toluca et l'Orizaba sont composés d'un mélange d'oligoclase et

de hornblende, qui est la roche d'Egine et de Kozelnik
Le dernier venu des volcans, le Jorullo, qui n'est guère qu'une grande colline d'éruption, consiste presque uniquement en laves ressemblant à du basalte et à du pechstein, dont la plupart sont scorifiées. Le trachyte dont il est formé est plus voisin du trachyte du Toluca que de celui du Colima. Ces considérations sur les caractères individuels que présentent, au point de vue de la constitution minéralogique, des volcans voisins les uns des autres, implique le désaveu de la malheureuse innovation par laquelle on a tenté de désigner une espèce de trachyte sous un nom emprunté à une chaîne de montagnes, en partie volcanique, qui n'a pas moins de 1 800 milles géographiques de longueur. Le nom de calcaire jurassique, que j'ai introduit le premier (55), est sans inconvénient, parce qu'il est tiré d'une roche simple et sans mélange, et d'une chaîne de montagnes dont l'âge est indiqué par la superposition des restes organiques. On ne peut élever non plus d'objection contre les noms de montagnes appliqués à des formations trachytiques. Rien n'empêche par exemple d'appeler trachytes du Ténériffe ou de l'Etna des formations déterminées d'oligoclase ou de labrador. Tant que l'on fut disposé à reconnaître de l'albite dans les espèces très-différentes de feldspath qui caractérisent les trachytes des Andes, chaque roche qui était supposée contenir de l'albite, fut appelée andésite. Je trouve pour la première fois, dans un important Mémoire publié par Léopold de Buch au commencement de 1835,

sur les cratères de soulèvement et les volcans, le nom d'andésite, avec cette définition précise : l'andésite est formée par la prédominance de l'albite, avec un peu de hornblende (56). Ce parti pris de voir partout de l'albite a persisté pendant cinq ou six ans, jusqu'au moment où, à la suite d'expériences plus approfondies et renouvelées sans prévention, on reconnut que les albites trachytiques n'étaient autres que de l'oligoclase (57). Gustave Rose en est arrivé à douter que l'albite se présente dans ces roches comme une partie essentielle, d'où il résulterait que l'andésite, même d'après l'idée que l'on s'en faisait autrefois, serait absente de la chaîne des Andes.

La composition minéralogique des trachytes sera imparfaitement connue toutes les fois que les cristaux empâtés à la façon des porphyres ne seront point détachés de la masse principale, pour être étudiés et mesurés isolément, et que l'on sera réduit aux rapports numériques des terres, des alcalis et des oxydes de métaux, tels que les révèle l'analyse, et au poids spécifique de la masse à analyser, qui est en apparence amorphe. Pour obtenir un résultat sûr et convaincant, il faut examiner séparément la masse principale et les éléments essentiels, au double point de vue de l'oryctognosie et de la chimie. C'est ce que l'on a fait pour les trachytes du pic de Ténériffe et ceux de l'Etna. L'hypothèse que la masse principale est composée des mêmes parties, imperceptibles à cause de leur petitesse, que nous reconnaissons dans les grands cristaux, ne paraît pas

fort bien fondée, parce que, ainsi que nous l'avons vu plus haut dans l'ingénieux travail de Charles Deville, la masse principale qui paraît amorphe offre ordinairement plus d'acide siliceux qu'on ne le supposerait, d'après la nature du feldspath et des autres parties visibles. Dans les leucitophyres, il existe, ainsi que le remarque G. Rose, un contraste frappant quant à la nature de l'alcali dominant, entre les leucites disséminées à base de potasse, et la pâte elle-même, qui ne contient guère que de la soude (58).

Mais à côté de ces associations d'augite et d'oligoclase, d'augite et de labrador, de hornblende et d'oligoclase, introduites dans la classification des trachytes que nous avons adoptée, et qui en forment les principaux caractères, il y a encore, dans chaque volcan, d'autres parties faciles à reconnaître, qui ne sont point essentielles, et dont la fréquence ou l'absence constante sur des montagnes volcaniques, souvent très-rapprochées, est un phénomène surprenant. L'apparition rare ou fréquente, dans le même laboratoire, d'un élément particulier, dépend vraisemblablement de diverses conditions : de la profondeur à laquelle la substance a pris naissance, de la température, des degrés de fluidité, du refroidissement plus lent ou plus rapide. L'association spécifique ou l'absence d'éléments déterminés est en contradiction avec certaines théories, par exemple avec l'origine supposée de la ponce qui proviendrait du feldspath vitreux ou de l'obsidienne. Ces considérations qui ne datent pas d'aujourd'hui et qui s'étaient produites

dès la fin du XVIIIe siècle, lorsque l'on comparait les trachytes de Hongrie avec ceux du pic de Ténériffe, m'ont vivement occupé pendant plusieurs années, au Mexique et dans les Cordillères des Andes, ainsi que mes Journaux en font foi. Grâce aux nouveaux et incontestables progrès de la lithologie, les espèces minérales que j'avais déterminées incomplétement pendant mon voyage ont pu l'être d'une manière plus approfondie et plus certaine, par suite des recherches oryctognostiques auxquelles G. Rose s'est livré, pendant plusieurs années, sur mes collections.

MICA.

Le mica magnésien noir ou vert foncé est très-abondant dans les trachytes du Cotopaxi, à 2 263 toises de hauteur, entre Suniguaicu et Quelendaña, ainsi que dans les carrières de Guapulo et de Zumbalica, situées au pied du Cotopaxi et à quatre milles cependant de la montagne (59). Les trachytes du volcan de Toluca sont riches aussi en mica magnésien, qui manque au Chimborazo (60). Les micas se sont présentés en abondance dans notre continent : sur le Vésuve, dans les éruptions de 1821 à 1823, d'après les témoignages de Monticelli et de Covelli; sur l'Eifel, dans les anciennes bouches volcaniques du Laacher-See (61); dans le basalte de Meronitz, de la montagne marneuse de Kausawer, et surtout du Gamaya, l'un des sommets du Mittelgebirge de la Bo-

hême (62). Ils sont plus rares dans le phonolithe et dans la dolérite du Kaiserstuhl, près de Fribourg (63). Il est à remarquer que non-seulement le mica potassique blanc, qui le plus souvent est à deux axes, ne se forme jamais dans les trachytes et les laves des deux continents, mais que le seul mica que ces roches renferment est le mica magnésien, de couleur foncée, et le plus souvent à un seul axe. Cette production exclusive du mica magnésien s'étend à beaucoup d'autres roches éruptives et plutoniques : au basalte, au phonolithe, à la syénite, au schiste syénitique et même au granitite; pour le granite proprement dit, il renferme en même temps le mica potassique blanc et le mica magnésien noir ou blanc (64).

FELDSPATH VITREUX.

Cette espèce de feldspath, qui joue un rôle si important dans l'activité des volcans européens, parmi les trachytes de la première et de la seconde division, par exemple à Ischia, dans les champs Phlégréens et le Siebengebirge de Bonn, paraît manquer tout à fait, dans le nouveau continent, aux trachytes des volcans actifs. Cette particularité est d'autant plus remarquable que le feldspath vitreux ou sanidine appartient essentiellement aux porphyres mexicains de Moran, de Pachuca, de Villalpando et d'Acaguisotla, lesquels sont riches en argent et dépourvus de quartz : les premiers d'entre ces trachytes se rattachent aux obsidiennes du Jacal (65).

HORNBLENDE ET AUGITE.

En caractérisant les six divisions des trachytes, nous avons remarqué plus haut que les mêmes espèces minérales qui sont parties essentielles dans certaines roches, par exemple la hornblende dans la roche de Toluca, de la 3e division, n'apparaissent dans d'autres, dans la roche du Pichincha, je suppose, ou de l'Etna, qui appartiennent à la 4e et à la 5e division, qu'isolément et d'une manière sporadique. J'ai trouvé la hornblende, bien qu'en petite quantité, dans les trachytes du Cotopaxi, du Rucu-Pichincha, du Tunguragua et de l'Antisana, à côté de l'augite et de l'oligoclase, mais je ne l'ai presque point trouvée rapprochée de ces deux roches sur le Chimborazo, jusqu'à la hauteur de plus de 18 000 pieds. Parmi les nombreux fragments que j'ai rapportés du Chimborazo, il y en a deux seulement dans lesquels j'ai reconnu de la hornblende, et encore en très-faible quantité. Lors des éruptions du Vésuve de 1822 et 1850, il s'est formé simultanément, par l'effet des vapeurs qui s'échappaient des fissures, de l'augite et des cristaux de hornblende, longs de près de 9 lignes (66). Sur l'Etna, la hornblende appartient surtout aux laves anciennes, ainsi que l'a fait observer Sartorius de Waltershausen. Comme le remarquable minéral, fort répandu dans l'Asie occidentale et sur plusieurs points de l'Europe, que G. Rose a nommé ouralite, se rapproche beaucoup,

pour la structure et la cristallisation, de la hornblende et de l'augite (67), je ferai remarquer ici que la présence des cristaux d'ouralite a été constatée pour la première fois dans le nouveau continent par G. Rose, sur un fragment de trachyte que j'avais détaché à 3 000 pieds au-dessous du faîte du Tunguragua.

LEUCITE.

Les leucites, qui, en Europe, appartiennent exclusivement au Vésuve, à la Rocca Monfina, aux collines d'Albano près de Rome, au Kaiserstuhl en Brisgau et à l'Eifel, où elles se montrent, à l'ouest du Laachersee, sous la forme de blocs et non pas de roches *in situ*, comme sur le Burgberg près de Rieden, n'ont été trouvées jusqu'ici dans aucune des montagnes volcaniques du nouveau continent, non plus qu'en Asie. Léopold de Buch a reconnu, dès 1798, que cette roche se forme souvent autour des cristaux d'augite, et l'a décrite dans un excellent Mémoire (68). Les cristaux d'augite, autour desquels se forme la leucite, d'après la remarque de ce grand géologue, manquent rarement; quelquefois cependant, ils me paraissent remplacés par un petit noyau ou un fragment de trachyte. L'inégale fusibilité du noyau et de la leucite qui l'entoure est bien une objection contre l'explication que l'on a donnée de la manière dont se forme l'enveloppe. D'après Scacchi, les leucites désagrégées ou mêlées aux laves étaient très-abondantes dans les récentes éruptions du Vésuve, en 1822, 1828, 1832, 1845 et 1847.

OLIVINE.

L'olivine se présente en grande quantité dans les anciennes laves du Vésuve, particulièrement dans le leucitophyre de la Somma (69). L'Arso d'Ischia, dans l'éruption de 1301, en a rejeté une masse considérable, mêlée avec du feldspath vitreux, du mica brun, de l'augite verte, et du fer magnétique. Cette roche est aussi très-abondante dans les volcans de l'Eifel à coulées de lave, par exemple dans le Mosenberg, à l'ouest de Manderscheid (70), et dans la partie Sud-Est de l'île de Ténériffe, depuis l'éruption de lave de 1704. Mais je l'ai cherchée inutilement, quoique avec beaucoup d'ardeur, dans les trachytes des volcans du Mexique, de la Nouvelle-Grenade et de Quito. Les collections de Berlin possèdent, comme échantillons de 4 volcans seulement (le Tunguragua, l'Antisana, le Chimborazo et le Pichincha), 68 fragments de trachyte, dont 48 ont été rapportés par moi et 20 par Boussingault (71). Dans les basaltes du Nouveau-Monde, l'olivine se rencontre auprès de l'augite, presque aussi souvent qu'en Europe; mais les trachytes noirs basaltiques du Yana-Urcu, qui s'élève près de Calpi, au pied du Chimborazo (72), ainsi que les mystérieux décombres appelés *la reventazon del volcan de Ansango* (73) ne contiennent point d'olivine. Ce n'est que dans la grande coulée de lave, d'un brun noir, dont la surface, ridée, scorifiée et boursouflée offre l'aspect de choux-fleurs, et que nous avons suivie pour

arriver au cratère du volcan de Jorullo, que nous en avons trouvé de petits grains (74). La rareté si générale de l'olivine dans les laves récentes et dans la plus grande partie des trachytes paraît moins surprenante, lorsqu'on se rappelle que, si essentielle que puisse être cette substance à la formation des masses basaltiques, Nidda et Sartorius de Waltershausen assurent qu'on ne peut toujours, en Islande et dans le Rhœngebirge bavarois, distinguer le basalte sans olivine du basalte riche en olivine. Il était d'usage autrefois de désigner le premier sous les noms de trapp et de wacke; depuis on a coutume de l'appeler anémasite (75). Les olivines atteignent quelquefois dans les basaltes de Rentières, en Auvergne, la grosseur de la tête d'un homme; on en trouve aussi dans les carrières d'Unkel, l'objet des premières études de ma jeunesse, qui n'ont pas moins de 6 pouces de diamètre. Le beau rocher d'Elfdalen en Suède, dont on polit souvent des fragments, mélange granulaire d'hypersthène et de labrador, que Berzélius a décrit comme de la syénite, contient également un peu d'olivine (76). Il s'en trouve encore, mais en moindre quantité, dans le phonolithe du Pic de Griou (77). D'après Stromayer, l'olivine est constamment accompagnée de nickel; Rumler y a trouvé aussi de l'arsenic, métal qui, d'après les découvertes récentes, existe dans un si grand nombre de sources minérales, et même dans l'eau de mer (78). J'ai signalé ailleurs la présence de l'olivine dans les pierres météoriques (79) et dans les scories artificielles analysées par Sefstrœm (80).

OBSIDIENNE.

Lorsque durant le printemps et l'été de 1799, je me préparais, en Espagne, à mon voyage des îles Canaries, l'opinion dominante chez les minéralogistes de Madrid, Hergen, dom José Clavijo et autres, était que la pierre ponce est uniquement formée d'obsidienne. Cette hypothèse était fondée sur l'étude des magnifiques collections géognostiques provenant du pic de Ténériffe, et sur la comparaison qu'on en avait faite avec les phénomènes observés en Hongrie, bien que ces phénomènes fussent généralement interprétés à cette époque d'après les vues neptuniennes de l'école de Freiberg. Les doutes que mes observations, dans les îles Canaries, dans les Cordillères de Quito et dans les volcans mexicains, firent naître sur l'insuffisance de cette théorie (81), m'inspirèrent la pensée de soumettre au plus sérieux examen deux groupes de phénomènes : d'une part, la différence générale des substances enfermées dans les obsidiennes et dans les pierres ponces; de l'autre, l'association plus ou moins fréquente ou l'entière séparation de ces deux roches, dans les échafaudages de volcans actifs et soigneusement analysés. Mon Journal est plein de renseignements sur cet objet; et quant à la détermination spécifique que j'ai faite des espèces minérales entrant dans la composition de l'obsidienne et de la pierre ponce, elle est mise hors de doute par les recherches récentes

et multipliées de mon laborieux et bienveillant ami Gustave Rose.

Dans l'obsidienne, comme dans la pierre ponce, il se présente du feldspath vitreux aussi bien que de l'oligoclase; souvent même tous deux sont réunis. On peut citer comme exemples, d'une part, les obsidiennes du Mexique, que j'ai recueillies au *Cerro-de-las-Navajas*, sur le versant oriental du Jacal; celles de Chico, qui contiennent un grand nombre de cristaux de mica; celles de Zimapan, au sud-sud-ouest de Mexico, où sont entremêlés de petits cristaux de quartz distincts; d'autre part les pierres ponces du Rio-Mayo, sur le chemin qui conduit de Popayan à Pasto, ainsi que celles du volcan éteint de Sorata près de Popayan. Les carrières souterraines de pierre ponce, voisines de Llatacunga, contiennent beaucoup de mica, de l'oligoclase et aussi de la hornblende, ce qui est fort rare dans la ponce et dans l'obsidienne (82). On a vu cependant de la hornblende dans la ponce du volcan d'Arequipa. Le feldspath commun ou orthoclase ne se présente jamais dans la ponce à côté de la sanidine; il ne s'y trouve pas non plus d'augite. Il existe sur la Somma, mais non sur le cône même du Vésuve, de la ponce qui renferme des masses terreuses de carbonate de chaux. C'est sous cette remarquable variété de ponce qu'est ensevelie Pompéi (83). Les obsidiennes sont rares dans les véritables coulées de lave; elles ne s'y trouvent guère que sur le pic de Ténériffe, sur les volcans de Lipari et de Volcano.

Si maintenant l'on examine l'association de l'obsidienne et de la pierre ponce dans un même volcan, voici les faits qui ont été constatés : le Pichincha a de grands champs de pierre ponce et n'a pas d'obsidienne ; le Chimborazo ne laisse voir ni obsidienne ni pierre ponce, non plus que l'Etna, dont les trachytes sont cependant tout autrement composés, et contiennent du labrador au lieu d'oligoclase. J'ai remarqué aussi l'absence de la pierre ponce et de l'obsidienne, en gravissant le Tunguragua. Le volcan de Puracé, près de Popayan, a beaucoup d'obsidienne, mêlée à ses trachytes, et n'a jamais produit de ponce. Les plaines immenses d'où s'élèvent l'Ilinissa, le Carguairazo et l'Altar sont couvertes de pierre ponce. Les carrières de Llactacunga, celles de Huichapa au sud-est de Queretaro, ainsi que les amas de ponce qui bordent le Rio-Majo (84), ceux de Tschegem dans le Caucase (85) et de Tollo dans le Chili (86), tous situés à distance de charpentes volcaniques en activité, me paraissent appartenir aux phénomènes éruptifs que la surface plane de la Terre produit à travers les fissures qui la sillonnent. Un autre volcan chilien, le volcan d'Antuco (87), dont Pœppig a donné une description aussi gracieuse que savante, rejette bien, comme le Vésuve, des cendres et des rapillis très-fins, mais point de pierres ponces ni de roches vitreuses ou ressemblant à de l'obsidienne. Nous voyons la pierre ponce se former dans des trachytes très-diversement composés sans la présence de l'obsidienne ou du feldspath vi-

treux. L'ingénieux Darwin a remarqué qu'il n'existe aucune trace de pierre ponce dans tout l'archipel des Galapagos. Ailleurs déjà nous avons fait observer que le puissant volcan de Mauna-Loa, dans les îles Sandwich, et les volcans de l'Eifel, qui ont vomi jadis des coulées de lave, n'ont point de cônes de cendres (88). Bien que l'île Java contienne une rangée de plus de 40 volcans, dont 23 sont encore actifs, Junghuhn n'a pu découvrir que deux points, situés sur le Gunung Guntur près de Bandong et de la grande montagne de Tengger, où se soient formées des masses d'obsidienne (89). Il ne paraît pas que cette obsidienne soit devenue l'occasion d'une formation de pierre ponce. Les mers de sable (Dasar) qui se trouvent à une hauteur moyenne de 6 500 pieds au-dessus de l'Océan, ne sont point couvertes de ponce, mais d'une couche de rapillis qui ont été décrits comme des fragments de basalte à demi vitrifiés et ressemblant à de l'obsidienne. Le cône du Vésuve, qui n'a jamais produit de pierre ponce, a rejeté, du 24 au 28 octobre 1822, une couche, épaisse de 18 pouces, de cendres sablonneuses et de rapillis trachytiques pulvérisés, qui n'ont jamais été confondus avec la ponce.

Les cavernes et les cavités vésiculaires de l'obsidienne, dans lesquelles se sont formés des cristaux d'olivine, dus vraisemblablement à la précipitation des vapeurs, comme cela se voit au Mexique, par exemple, sur le *Cerro-del-Jacal*, contiennent souvent, dans les deux hémisphères, d'autres substances, qui

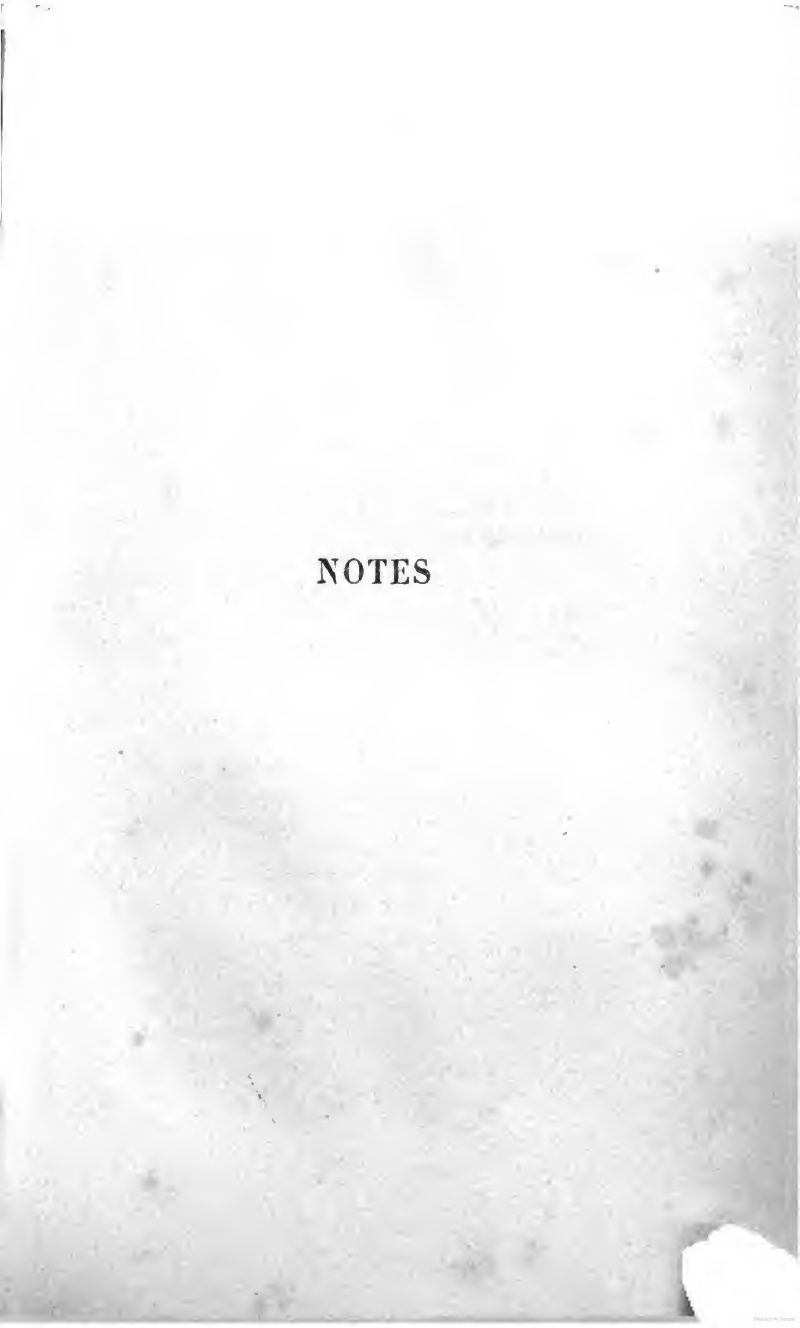
semblent indiquer leur origine et leurs modes de formation. Dans les parties les plus larges de ces cavernes allongées et le plus souvent très-régulièrement parallèles, il existe des fragments de trachyte terreux, à moitié décomposés. Le vide se prolonge en se rétrécissant, de manière à former une espèce de queue, comme si la chaleur volcanique avait développé, dans la masse encore pâteuse, un fluide élastique gazeux. Ce phénomène avait particulièrement attiré l'attention de Léopold de Buch, en 1805, lorsque ce savant géologue visita à Naples, avec Gay-Lussac et moi, la collection minéralogique de Thomson (90). Le boursouflement de l'obsidienne par le feu qui, déjà dans l'antiquité grecque, n'avait pas échappé à l'observation (91), a certainement pour cause un développement de gaz analogue. D'après Abich, les obsidiennes se transforment d'autant plus facilement par la fusion en pierres ponces cellulaires, à filaments non parallèles, qu'elles sont plus pauvres en acide siliceux et plus riches en alcalis. Quant à savoir si le gonflement doit être uniquement attribué à la volatilisation de la potasse ou de l'acide chlorhydrique, c'est ce qui reste fort incertain, d'après les travaux de Rammelsberg (92). Des phénomènes de gonflement offrant les mêmes apparences que présentent les trachytes riches en obsidienne et en sanidine, les basaltes poreux et les amygdaloïdes, le pechstein, la tourmaline et la pierre à fusil, qui perd sa couleur brun foncé, peuvent avoir des causes très-diverses, suivant les substances. Des expériences

exactes et bornées aux fluides gazeux, expériences si longtemps et si vainement attendues, auraient pour résultat un agrandissement inappréciable de la géologie chimique des volcans, à la condition de faire entrer en ligne de compte l'effet de l'eau de mer dans les formations sous-marines et la quantité d'hydrogène carburé contenue dans les substances organiques qui s'y trouvent mêlées.

Les faits que j'ai réunis à la fin de ce volume, à savoir : l'énumération des volcans qui contiennent de la pierre ponce sans obsidienne, ou beaucoup d'obsidienne sans pierre ponce, et l'association fort remarquable, mais inconstante et très-diversifiée, de l'obsidienne et de la ponce avec quelques autres minéraux, m'ont convaincu d'un fait, durant mon séjour dans les Cordillères de Quito : c'est que la formation de la ponce résulte d'un phénomène chimique qui peut se produire dans des trachytes diversement composés, et qui ne suppose pas nécessairement l'intervention ou la préexistence de l'obsidienne en grandes masses. Les conditions dans lesquelles un pareil phénomène peut s'accomplir sur une vaste échelle, tiennent moins, je le répète, à la différence des substances qu'à la gradation de la chaleur, à la pression déterminée par la profondeur, à la fluidité et à la durée de la solidification.

Les rares et mémorables phénomènes que présentent les immenses carrières de pierre ponce, isolées, sous la surface de la Terre, de tout échafaudage volcanique, c'est-à-dire de montagnes en forme de

cône ou de cloche, m'amènent à conjecturer qu'une partie considérable des roches volcaniques, peut-être même la plus volumineuse, ne s'est pas frayé une voie à travers ces échafaudages, mais bien à travers le réseau de failles dont est sillonnée la surface terrestre, d'où elles se sont répandues par couche sur des espaces de plusieurs milles carrés (93). A ces roches appartiennent probablement aussi les masses anciennes de trapp, de la formation silurienne inférieure, qui couvrent la partie sud-ouest de l'Angleterre, et dont mon noble ami, sir Roderick Murchison, a donné une détermination chronologique très-exacte; travail qui a sensiblement agrandi la connaissance de la structure géologique du globe, et donné à cette étude un plus haut caractère.



NOTES

On a supprimé le chiffre des centaines dans l'indication numérique des notes; cette suppression n'occasionnera point d'incertitude, attendu qu'au numéro de renvoi est toujours joint celui de la page correspondante.

NOTES

(1) [page 2]. Voy. *le Cosmos*, t. III, p. 3-8.

(2) [page 2]. *Ibid.*, t. I, p. 79-580.

(3) [page 3]. *Ibid.*, t. III, p. 736, note 96.

(4) [page 6]. *Ibid.*, t. I, p. 58-65 et 152; t. III, p. 2, 18, 22-27, 601 et 632.

(5) [page 6]. *Ibid.*, t. III, p. 542.

(6) [page 7]. *Ibid.*, t. I, p. 147 et 475.

(7) [page 7]. *Ibid.*, t. III, p. 479 et 480.

(8) [page 7]. Aristote, *Physicæ Auscultationes*, l. III, c. 1, p. 200, édit. de Bekker.

(9) [page 7]. Aristote, *de Generatione et Corruptione*, l. I, c. 1, p. 314, Bekker.

(10) [page 9]. Laplace, *Exposition du Système du Monde*, p. 384; *Cosmos*, t. III, p. 23 et 271.

(11) [page 13]. *Cosmos*, t. III, p. 282; voy. aussi t. II, p. 552 et 600-602.

(12) [page 13]. Aristote, *de Anima*, l. II, c. 1, p. 412, A 14, Bekker.

(13) [page 14]. Aristote, *de Partibus Animalium*, l. IV,

c. 5, p. 681, A 12, et *Historia Animalium*, l. VIII, c. 1, p. 588, A 4, Bekker.

(14) [page 17]. « La loi de l'attraction réciproque au carré de la distance est celle des émanations qui partent d'un centre. Elle paraît être la loi de toutes les forces dont l'action se fait apercevoir à des distances sensibles, comme on l'a reconnu dans les forces électriques et magnétiques. Une des propriétés remarquables de cette loi est que, si les dimensions de tous les corps de l'Univers, leurs distances mutuelles et leurs vitesses venaient à croître ou à diminuer proportionnellement, ils décriraient des courbes entièrement semblables à celles qu'ils décrivent : en sorte que l'Univers, réduit ainsi successivement jusqu'au plus petit espace imaginable, offrirait toujours les mêmes apparences aux observateurs. Ces apparences sont par conséquent indépendantes des dimensions de l'Univers, comme, en vertu de la loi de la proportionnalité de la force à la vitesse, elles sont indépendantes du mouvement absolu qu'il peut y avoir dans l'espace. » Laplace, *Exposition du Système du Monde*, 5e édit., p. 385.

(15) [page 19]. Gauss, *Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Gœttingen und Altona*, 1828, p. 73. Par un singulier effet du hasard, il s'en faut de moins de la largeur d'une main que les deux Observatoires soient exactement placés dans le même méridien.

(16) [page 19]. Bessel, *ueber den Einfluss der Unregelmæssigkeiten der Figur der Erde auf geodætische Arbeiten und ihre Vergleichung mit astronomischen Bestimmungen*, dans les *Astronomische Nachrichten* de Schumacher, t. XIV, nº 329, p. 270. Voy. aussi Bessel et Bæyer, *Gradmessung in Ostpreussen*, 1838, p. 427-442.

(17) [page 20]. Bessel, *ueber den Einfluss der Verænderungen des Erdkœrpers auf die Polhœhen*, dans le Recueil de Lindenau et de Bohnenberger, intitulé *Zeitschrift für Astro-*

nomie, t. V, 1818, p. 29. Le poids de la Terre exprimé en livres = 9 933 × 10^{21}; celui de la masse déplacée = 947 × 10^{14}.

(18) [page 20]. Après les recherches théoriques de cette époque sont venues celles de Maclaurin, de Clairaut et de d'Alembert, de Legendre et de Laplace. Aux travaux de cette dernière époque doit être joint le théorème formulé par Jacobi en 1834, que les ellipsoïdes à trois axes inégaux peuvent être, sous certaines conditions, des figures d'équilibre, tout aussi bien que les deux ellipsoïdes de révolution proposés antérieurement. On peut lire le Mémoire de l'auteur, enlevé si prématurément à ses admirateurs et à ses amis, dans le Recueil de Poggendorff, *Annalen der Physik und Chemie,* t. XXXIII, 1834, p. 229-233.

(19) [page 21]. La première comparaison exacte de plusieurs mesures de degré date du XIXe siècle, et fut exécutée à Abo par Walbeck, qui comprit dans ce travail la mesure de degré prise sur le plateau de Quito, deux accomplies dans les Indes Orientales, une opérée en France, une autre en Angleterre, une autre plus récente en Laponie. Il trouva pour valeur moyenne de l'aplatissement $\frac{1}{302,78}$, et pour le degré d'un méridien 57 009^t,758. Malheureusement son Mémoire *De forma et magnitudine Telluris* n'a pas paru en entier. Encouragé par l'honorable invitation de Gauss, Édouard Schmidt a recommencé et amélioré le travail de Walbeck, en ayant égard aux puissances plus élevées de l'aplatissement, aussi bien qu'aux hauteurs polaires observées sur les points intermédiaires, et en faisant entrer dans sa comparaison la mesure de degré exécutée en Hanovre, et celle que Biot et Arago ont prolongée jusqu'à l'île de Formentera. Les résultats de ces recherches, perfectionnés peu à peu, ont paru sous trois formes différentes : dans le livre de Gauss, *Bestimmung der Breitenunterschiede von Gœttingen und Altona*, 1828 (p. 82); dans celui d'Édouard Schmidt, *Lehrbuch der mathematischen und phy-*

sischen Geographie, 1829 (1re part., p. 183 et 194-199); et enfin dans l'Introduction de cet ouvrage (p. v). Le dernier résultat donne pour le degré d'un méridien 57 008t,655, pour l'aplatissement $\frac{1}{2997479}$. Le premier travail de Bessel fut immédiatement précédé par l'important écrit de Airy : *Figure of the Earth*, publié en 1830 dans l'*Encyclopædia metropolitana* (p. 220 et 239 de l'édition de 1849), et qui donne pour la moitié de l'axe polaire 20 853 810 pieds anglais = 3 261 163,7 toises; pour la moitié de l'axe équatorial 20 923 713 pieds anglais = 3 272 095,2 toises; pour un quart de cercle d'un méridien 32 811 980 pieds anglais = 5 131 208 toises; pour l'aplatissement polaire $\frac{1}{299{\cdot}33}$. Le grand astronome de Kœnigsberg s'est occupé sans interruption, depuis 1836 jusqu'en 1842, de calculs sur la figure de la Terre, et comme son premier travail a été amélioré par celui qui a suivi, les résultats, datant d'époques différentes, sont devenus, dans beaucoup d'ouvrages, une cause de confusion. Les inconvénients de ce mélange, regrettable surtout pour des nombres qui dépendent naturellement les uns des autres, sont augmentés encore par des inexactitudes dans les conversions des différentes mesures : toises, mètres, pieds anglais, milles de 60 ou de 69 au degré équatorial, et font paraître sous le jour le plus désavantageux des travaux qui, d'ailleurs, ont coûté une grande dépense d'efforts et de temps. Durant l'été de 1837, Bessel publia deux Mémoires : dans l'un, il exposait l'influence des irrégularités de la forme terrestre sur les travaux géodésiques et sur la comparaison de ces travaux avec les déterminations astronomiques; dans l'autre, il discutait les axes de l'ellipsoïde de révolution qui répondent le mieux aux mesures de l'arc de méridien exécutées jusqu'à ce jour. Voy. les *Astronomische Nachrichten* de Schumacher, t. XIV, no 329, p. 269, et no 333, p. 345. Les résultats de ses calculs étaient : pour la moitié du grand axe, 3 271 953t,854; pour la moitié du petit axe, 3 261 072t,900; pour la longueur du degré moyen

d'un méridien, c'est-à-dire pour la 90e partie d'un quart de cercle de la Terre, mesurée dans le plan perpendiculaire à l'équateur, 57 011^t,453. Une erreur de 63 toises, que Puissant a signalée dans les calculs exécutés en 1808 par une Commission de l'Institut, pour déterminer la distance entre les parallèles de Mont-Jouy, près de Barcelone, et celui de Mola, dans l'île de Formentera, fut pour Bessel l'occasion de soumettre à une nouvelle révision son premier travail sur les dimensions des corps terrestres. Voy. les *Astron. Nachrichten* de Schumacher, t. XIX, n° 438, p. 97-116. La longueur du quart de cercle terrestre se trouva alors fixée à 5 131 179^t,81, au lieu de 5 130 740^t, qui avaient été adoptées d'après la première détermination du mètre, et la longueur du degré moyen d'un méridien à 57 013^t,109; c'est 0^t,611 de plus que pour le degré d'un méridien situé sous le 45e parallèle. Les nombres indiqués dans le texte sont ceux qui résultent des dernières recherches de Bessel. Les 5 131 180 toises exprimant, sous la réserve d'une erreur moyenne de 255^t,63, la longueur du quart de cercle d'un méridien égalent 10 000 856 mètres. La circonférence totale de la Terre est donc de 40 003 423 mètres ou 5 390,98 milles géographiques. Entre cette évaluation et la première, adoptée par la Commission des poids et mesures, d'après laquelle le mètre était considéré comme la 40 000 000e partie de la circonférence terrestre, il existe, pour la circonférence totale, une différence de 3423^m ou 1756^{t}27, ce qui équivaut environ à un demi-mille géographique (exactement $\frac{46}{100}$). D'après la première détermination, qui est encore actuellement la mesure légale, la longueur du mètre avait été fixée à 0^t,5 130 740 ou 443^l,296. D'après les derniers calculs de Bessel, la véritable longueur du mètre est de 0^t,5 131 180 ou 443^l,334; différence : 0^l,038. On peut consulter sur cette mesure d'une unité naturelle, Faye, *Leçons de Cosmographie*, 1852, p. 93.

(20) [page 24]. Airy, *Figure of the Earth*, dans l'*Encyclopædia Metropol.*, 1847, p. 214-216.

(21) [page 24]. Biot, *Astronomie physique*, t. II, p. 482, et t. III, p. 344. Une mesure de degré parallèle, d'autant plus importante qu'elle a conduit à la comparaison des niveaux de la mer Méditerranée et de l'Océan Atlantique, a été exécutée avec beaucoup de précision sur les cercles parallèles de la chaîne des Pyrénées, par Corabœuf, Delcros et Peytier.

(22) [page 25]. *Cosmos*, t. I, p. 190. « Il est très-remarquable qu'un astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'analyse, eût pu déterminer exactement la grandeur et l'aplatissement de la Terre et sa distance au Soleil et à la Lune, éléments dont la connaissance a été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères. Ainsi la Lune, par l'observation de ses mouvements, rend sensible à l'astronomie perfectionnée l'ellipticité de la Terre, dont elle fit connaître la rondeur aux premiers astronomes par les éclipses. » (Laplace, *Exposition du Système du Monde*, p. 230). — J'ai déjà mentionné dans le III[e] volume de cet ouvrage (p. 525 et 709) un aperçu optique d'Arago presque analogue, et fondé sur cette remarque que l'intensité de la couleur cendrée, c'est-à-dire de la lumière terrestre dans la Lune, peut nous révéler l'état moyen de transparence de notre atmosphère. (Voyez Arago, *Mémoires scientifiques*, t. I, p. 571 (t. X des Œuvres.) On devra consulter aussi Airy sur la détermination de l'aplatissement terrestre par les mouvements de la Lune (*Encyclop. Metropolit.*, p. 189 et 236), et sur les conséquences à tirer, pour la forme de la Terre, de la précession et de la nutation (*Ibid.*, p. 231-235). D'après les recherches de Biot, la détermination de l'aplatissement terrestre par les mouvements de la Lune ne pourrait donner que les nombres limites $\frac{1}{...}$

et $\frac{1}{578}$, entre lesquels on voit qu'il existe un écart considérable. Voy. *Astronomie physique*, 3e édit., t. II, 1844, p. 463.

(23) [page 25]. Laplace, *Mécanique céleste*, édit. de 1846, t. V, p. 16 et 53.

(24) [page 26]. *Cosmos*, t. II, p. 270 et 533, note 9. Le premier qui ait signalé, dans les ouvrages astronomiques des Arabes, l'indication des services que peut rendre l'égale durée des oscillations du pendule est Édouard Bernard. On peut lire dans les *Philosoph. Transactions* (t. XII, p. 567) la lettre qu'il écrivait d'Oxford (avril 1683) au docteur Robert Huntington à Dublin.

(25) [page 26]. Voy. Fréret, *de l'Étude de la Philosophie ancienne*, dans les *Mémoires de l'Académie des Inscriptions*, t. XVIII, 1753, p. 100.

(26) [page 26]. Picard, *Mesure de la Terre*, 1671, art. 4. Il est à peine vraisemblable que l'hypothèse exprimée dans l'Académie des Sciences de Paris, dès avant l'année 1671, sur les différences de la pesanteur suivant les différentes latitudes, appartienne au grand Huygens. Il est certain que Huygens présenta en 1669 à l'Académie son *Discours sur la cause de la Gravité;* mais ce n'est pas dans le discours même, c'est seulement dans les *additamenta,* dont un fut évidemment achevé après l'apparition des *Principes* de Newton, puisque ce livre y est cité, par conséquent après 1687, qu'il parle du raccourcissement du pendule qui bat les secondes. Lui-même dit : « Maxima pars hujus libelli scripta est cum Lutetiæ degerem, ad eum usque locum ubi de alteratione quæ pendulis accidit e motu Terræ. » Or, Huygens ne quitta Paris qu'en 1681. Voy. Lalande, *Astronomie*, t. III, p. 20, § 2668, et l'éclaircissement que j'ai donné moi-même dans le second volume du *Cosmos* (p. 616, note 2). Les observations de Richer à Cayenne ne furent publiées, ainsi qu'on l'a vu dans le texte, qu'en 1679, par conséquent six ans après son

retour. Ce qu'il y a de plus surprenant, c'est que dans les registres de l'Académie des Inscriptions il n'est fait aucune mention, durant ce long espace de temps, des observations importantes que Richer avait faites à la fois sur l'horloge à pendule et sur le pendule à secondes. Nous ne savons pas à quel moment Newton, dont les premières spéculations théoriques sur la figure de la Terre remontent au delà de 1665, eut connaissance des résultats de Richer. Il paraît qu'il ne connut que fort tard, en 1682, et par le hasard d'une conversation qu'il entendit à une séance de la *Royal Society*, la mesure du degré de Picard, publiée cependant dès l'année 1671, mesure qui, ainsi que l'a montré sir David Brewster (*Life of Newton*, p. 152), eut une décisive influence sur la détermination du diamètre terrestre et du rapport entre la chute des corps à la surface de la Terre et la force qui imprime à la Lune son mouvement de révolution. On peut supposer que la connaissance de la forme elliptique de Jupiter, que Cassini avait constatée dès avant 1666, mais qu'il décrivit pour la première fois en 1691 dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* (t. II, p. 108) n'eut pas une moindre influence sur les idées de Newton. Faut-il supposer que Newton en apprit quelque chose par des feuilles imprimées longtemps auparavant, et que Lalande déclare avoir vues dans les mains de Maraldi. (Voy. Lalande, *Astronomie*, t. III, p. 335, § 3345; Brewster, *Life of Newton*, p. 162, et Humboldt, *Cosmos*, t. I, p. 491, note 29.) Les travaux simultanés de Newton, de Huygens, de Picard et de Cassini rendent très-difficiles de démêler la part de chacun d'eux dans l'échange scientifique des idées qui eut lieu à cette époque, surtout si l'on songe qu'il était d'usage de publier tard les découvertes, et que souvent même des circonstances fortuites en ajournaient la communication.

(27) [page 27]. Delambre, *Base du système métrique*, t. III, p. 548.

(28) [page 27]. *Cosmos*, t. I, p. 494, note 33; Plana, *Opé-*

rations géodésiques et astronomiques pour la mesure d'un arc du parallèle moyen, t. II, p. 847; Carlini, dans les *Effemeridi astronomiche di Milano* per l'anno 1842, p. 57.

(29) [page 28]. Comp. Biot, *Astronomie physique*, t. II, 1844, p. 464, avec *le Cosmos*, t. I, p. 495, note 33, et t. III, p. 474, où j'ai indiqué les difficultés que présente le rapport entre la vitesse de rotation des planètes et l'aplatissement déterminé par l'observation. Schubert (*Astronomie*, 3[e] part., p. 316) a déjà signalé ces difficultés. Bessel, dans son Mémoire *über Maass und Gewicht*, dit expressément que des expériences récentes sur le soulèvement insensible de vastes parties de la surface terrestre ont, en une certaine mesure, ébranlé la confiance dans la constance de la pesanteur sur un point donné.

(30) [page 28]. Airy, dans son excellent travail *on the Figure of the Earth* (voy. *Encyclop. metropol.*, 1849, p. 229), énumérait, en 1830, 50 stations différentes, sur lesquelles on avait recueilli des résultats certains, et 14 autres, celles où ont opéré Bouguer, Le Gentil, Lacaille, Maupertuis, La Croyère, qui, sous le rapport de l'exactitude, ne sauraient être comparées avec les précédentes.

(31) [pag. 30]. Biot et Arago, *Recueil d'Observations géodésiques et astronomiques*, 1821, p. 526-540, et Biot, *Traité d'Astronomie physique*, t. II, 1844, p. 465-473.

(32) [page 30]. Biot, *Astronomie physique*, t. II, p. 488. Sabine (*Exper. for determining the variation in the length of the pendulum vibrating seconds*, 1825, p. 352) déduit des 13 stations établies par lui, dans l'expédition qu'il a entreprise en vue d'observer les mouvements du pendule, bien que ces stations fussent très-dispersées sur l'hémisphère septentrional, $\frac{1}{288,7}$; et, en comparant ces stations avec toutes celles du *British Survey* et de la Commission française chargée

d'exécuter une mesure de degré de Formentera à Dunkerque, il a obtenu $\frac{1}{288,9}$. Il y a plus lieu de s'étonner de ce que, vers l'Ouest, à une grande distance de la région Atlantique, sous les méridiens de Petropawlowsk et de Nowo Archangelsk, les longueurs du pendule révèlent un aplatissement beaucoup plus considérable encore, à savoir $\frac{1}{267}$. Bessel, avec la clarté qu'il sait donner à toutes ses analyses, a fait voir, dans le livre intitulé *Untersuchungen über die Længe des einfachen Secundenpendels* (p. 32, 63 et 126-129), comment l'opinion, généralement adoptée jusque-là, de l'influence exercée par l'air qui environne le pendule conduit à une erreur de calcul, tenant à la différence de poids que perdent les corps solides plongés dans un fluide, suivant qu'ils sont en repos ou en mouvement, et comment cette erreur rend nécessaire une correction indiquée dès l'année 1786, mais d'une manière un peu obscure, par le chevalier de Buat. « Si un corps, dit Bessel, se meut dans un fluide, le fluide se trouve faire aussi partie du système mis en mouvement, et la force qui communique l'impulsion doit se diviser non-seulement entre toutes les parties du corps solide, mais aussi entre toutes les parties de la masse fluide. Sur les expériences faites par Sabine et par Baily, à l'occasion de la correction, importante au point de vue pratique, dont Bessel a démontré la nécessité, c'est-à-dire de la réduction à l'espace vide, voy. John Herschel, *Memoir of Francis Baily*, 1845, p. 17-21.

(33) [page 30]. *Cosmos*, t. I, p. 189 et 493, note 32. On peut consulter aussi, sur les phénomènes particuliers aux îles volcaniques, Sabine, *Pend. exper.*, 1825, p. 237, et Lutke, *Observations du pendule invariable exécutées de* 1826 *à* 1829, p. 241. Cet ouvrage contient (p. 239) un tableau remarquable indiquant la nature des roches dans seize stations de pendule, depuis l'île de Melville, par 79° 50′ de latitude boréale, jusqu'à Valparaiso, par 33° 2′ de latitude australe.

(34) [page 31]. *Cosmos*, t. I, p. 495, note 35. Édouard

Schmidt (*Mathematische und physische Geographie*, 1re part., p. 394), a mis à part, dans le grand nombre d'observations de pendule qui ont été faites sur les corvettes *Descubierta* et *Atrevida*, sous le commandement supérieur de Malaspina, les treize stations qui appartiennent à l'hémisphère méridional, et a trouvé un aplatissement de $\frac{1}{280.34}$. Mathieu a déduit des observations de Lacaille au cap de Bonne-Espérance et à l'île de France, comparées avec celles de Paris, $\frac{1}{284.4}$. Mais les appareils de mesure n'offraient pas à cette époque les mêmes garanties que présentent ceux de Borda et de Kater et les nouvelles méthodes d'observation. C'est ici le lieu de mentionner la belle expérience de Foucault, qui donne, à l'aide du pendule, la preuve matérielle de la rotation de la Terre, en faisant voir comment le plan des oscillations se meut lentement de l'Est à l'Ouest. Voy. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 3 février 1851, t. XXXII, p. 135. Dans les expériences de Benzenberg et de Reich, il faut, pour rendre sensible la déviation vers l'Est des corps jetés au fond d'un puits ou du haut d'un clocher, une hauteur ou une profondeur considérable, tandis qu'avec l'appareil de Foucault, un pendule long de six pieds suffit pour constater la rotation de la Terre. Les phénomènes qui s'expliquent par la rotation, comme la marche de l'horloge de Richer à Cayenne, l'aberration diurne, la déviation des projectiles et les vents alisés, ne sauraient être confondus avec la démonstration fournie par l'appareil de Foucault, dont les membres de l'*Academia del Cimento* paraissent avoir eu quelque notion. Voy. Antinori, dans les *Comptes rendus*, t. XXXII, p. 635.

(35) [page 32]. Dans l'antiquité grecque, l'opinion dominante signalait deux contrées, l'extrémité septentrionale de l'Asie et la région de l'équateur, comme ayant été formées par une remarquable intumescence du sol. Les hautes plaines de l'Asie, dit Hippocrate (*de Aere et Aquis*, § XIX, p. 72, édit. de M. Littré), sans être couronnées de montagnes, se prolongent

et s'élèvent jusque sous les pôles; Plutarque (*de Placitis Philosophorum*, l. II, c. 8), attribue la même croyance à Empédocle. Aristote dit (*Meteorologica*, l. II, c. 1, § 15, p. 66, édit. d'Ideler) que les météorologistes antérieurs, qui faisaient passer le Soleil non pas au-dessous mais autour de la Terre, considéraient le gonflement du sol vers le Nord comme la cause de la disparition du Soleil et de la venue de la nuit. Dans la compilation des Problèmes (l. XXVI, § 15, p. 941, édit. de Bekker), le froid du vent du Nord est attribué aussi à la hauteur du sol dans les régions d'où il souffle. Dans tous ces passages, il n'est pas question de montagnes, mais de hautes plaines produites par des gonflements du sol. J'ai déjà fait voir ailleurs (*Asie centrale*, t. I, p. 58) que Strabon, qui seul s'est servi du mot si caractéristique de ὀροπέδια, pour désigner l'Arménie, la Lycaonie, habitée par des ânes sauvages, et la partie supérieure de l'Inde, dans le pays riche en mines d'or des Derdes (l. XI, p. 522, XII, p. 568, et XV, p. 706, édit. de Casaubon), distingue en toute occasion la différence des climats due à la différence des latitudes, de celle qui est le résultat de l'élévation au-dessus de la mer. Même dans les contrées du Sud, dit le géographe d'Amasia, les parties élevées, plaines ou montagnes, sont froides (l. II, c. 1, p. 73). Pour expliquer la chaleur tempérée qui règne sous l'équateur, Eratosthène et Polybe ne signalent pas seulement le passage plus rapide du Soleil (voy. Geminus, *Elementa Astronomiæ*, c. 13; Cléomède, *Cycl. theor.*, l. I, c. 6), mais surtout le gonflement du sol (voy. Humboldt, *Examen critique de la Géographie du Nouveau Continent*, t. III, p. 150-152). D'après le témoignage de Strabon (l. II, c. 3, p. 97), Eratosthène et Polybe affirment que la région située sous l'équateur est de toutes la plus élevée, ce qui explique que la pluie y tombe en abondance, attendu que les vents étésiens, qui changent avec les saisons, amènent du Nord sur ces hauteurs une énorme quantité de nuages. De ces deux opinions sur les gonflements du sol dans le nord de l'Asie

l'Europe scythique d'Hérodote) et la zone équatoriale, la première, avec cette force qui appartient en propre à l'erreur, s'est maintenue pendant près de deux mille ans, et a fourni matière au mythe géologique de ce plateau de Tartarie, qui se prolongeait sans interruption au nord de l'Himalaya; l'autre n'avait besoin que d'être rectifiée et appliquée à une contrée de l'Asie située en dehors des tropiques, à l'immense plateau célébré sous le nom de Meru dans les plus anciens et les plus nobles monuments de la poésie indienne. Voy. le Dictionnaire sanscrit-anglais de Wilson (1832, p. 674), où le mot *meru* est traduit par haute-plaine. J'ai cru devoir entrer dans ces détails, afin d'avoir l'occasion de refuter l'hypothèse de Fréret qui, sans citer les passages des écrivains grecs, et en faisant allusion à un texte unique sur la pluie des régions tropicales, applique ces intumescences locales de la surface terrestre soit à l'aplatissement soit à l'allongement des pôles. « Pour expliquer les pluies, dit Fréret (*Mémoires de l'Académie des Inscriptions*, t. XVIII. 1753, p. 111), dans les régions équinoxiales que les conquêtes d'Alexandre firent connaître, on imagina des courants qui poussaient les nuages des pôles vers l'équateur, où, au défaut de montagnes capables de les arrêter, les nuages l'étaient par la hauteur générale de la Terre, dont la surface, sous l'équateur, se trouvait plus éloignée du centre que sous les pôles. Quelques physiciens donnèrent au globe la figure d'un sphéroïde renflé sous l'équateur et aplati vers les pôles. Au contraire, dans l'opinion de ceux des anciens qui croyaient la Terre allongée aux pôles, le pays voisin des pôles se trouvait plus éloigné du centre que sous l'équateur. » Je ne puis trouver aucun témoignage de l'antiquité qui justifie ces assertions. On lit en propres termes dans Strabon (l. I, c. 3, p. 48) : « Eratosthène, après avoir dit que l'ensemble de la Terre est sphérique, mais non pas comme si elle était faite au tour (expression empruntée à Hérodote, l. IV, c. 36), et que sa forme présente des irrégularités, nous en cite un grand nombre pro-

duites par l'eau, le feu, les tremblements de terre, les mouvements des vents souterrains (sans doute les exhalaisons des vapeurs élastiques), et d'autres causes analogues; mais ici encore il n'a pas assez égard à l'ordonnance générale, car la forme sphérique de la Terre résulte de la disposition de l'ensemble, et de telles irrégularités ne peuvent rien changer en définitif à la forme de la Terre : les petites choses se perdent dans les grandes. » Plus loin (l. II, p. 112) il dit : « L'ensemble de la Terre et de l'eau est sphérique, et la Terre n'a avec les mers qu'une seule et même surface. L'exhaussement de la terre ferme, qui est insignifiante et peut passer inaperçue, se perd dans ces vastes dimensions. En de tels cas, il ne faut pas vouloir déterminer la forme de la Terre comme si elle était faite au tour ou comme l'entendrait un géomètre ; il faut se contenter d'une approximation un peu grossière, telle que les sens la peuvent fournir. » Ailleurs encore (l. XVII, p. 809) : « Le monde est l'œuvre à la fois de la nature et de la providence; il est l'œuvre de la nature, en ce que tout converge vers un point et s'arrondit autour de ce centre; l'élément le moins dense, qui est l'eau, enveloppant l'élément le plus dense, qui est la terre. » Lorsque les Grecs parlent de la figure de la Terre, ils en reviennent toujours à la comparer à un disque plat ou creusé au milieu, à un cylindre, comme l'avait proposé Anaximandre, à un cube, à une pyramide, et plus généralement à une sphère, malgré la longue opposition des Épicuriens, qui niaient l'attraction exercée par le centre de la Terre. (Voy. Cleomède, *Cycl. Theor.*, l. I, c. 8, p. 51.) L'idée de l'aplatissement ne s'est point présentée à l'imagination. La forme allongée, sous laquelle Démocrite se figurait la Terre, n'était autre que le disque de Thalès, prolongé dans une seule direction. La forme de tambour τὸ σχῆμα τυμπανοειδής, dont l'idée est attribuée surtout à Leucippe (voy. Plutarque, *de Placitis philosoph.*, l. III, c. 10; Galien, *Historia philosophiæ*, c. 21; Aristote, *de Cœlo*, l. II, c. 13, p. 293, édit. de Bekker), avait déjà un point de départ dans une autre

figure, composée d'une demi-sphère et d'une base plane; la base représentait peut-être l'équateur et la courbure la partie de la terre habitée, οἰκουμένη. Un passage de Pline sur les perles (l. IX, c. 54) explique cette configuration. Aristote, au contraire (*Meteorol.*, l. II, c. 5, § 10, t. I, p. 97, édit. d'Ideler), se borne à comparer le segment de sphère avec un tambour, ainsi que cela résulte du Commentaire d'Olympiodore (t. I, p. 301, édit. d'Ideler). J'ai omis à dessein dans cette revue un passage d'Agathémère (*de Geographia*, l. 1, c. 1, p. 2, édit. de Hudson), et un autre d'Eusèbe (*Evangelica præparatio*, t. IV, p. 125, édit. de Gaisford, 1843), parce qu'ils ne peuvent servir qu'à montrer avec quelle inexactitude les écrivains postérieurs attribuent souvent aux anciens des opinions qui leur étaient complétement étrangères. Il résulterait de ces témoignages qu'Eudoxe aurait donné au disque de la Terre une longueur et une largeur dans le rapport de 1 à 2, et qu'il en serait de même de Dicéarque, le disciple d'Aristote, qui a fourni cependant de nouvelles preuves à l'appui de la forme sphérique de la Terre (voy. Marcien Capella, l. VI, p. 192). Enfin, Hipparque aurait donné à la Terre la forme d'un trapèze, et Thalès celle d'une sphère !

(36) [page 33]. Bessel m'écrivait au mois de décembre 1828 : « Il m'a souvent semblé que l'on n'est tenté quelquefois de considérer l'aplatissement terrestre comme une chose douteuse que parce qu'on se pique d'une trop grande exactitude. Suivant que l'on suppose l'aplatissement égal à $\frac{1}{310}$, $\frac{1}{300}$, $\frac{1}{290}$, $\frac{1}{280}$, on obtient, pour la différence des deux diamètres, 10554, 10905, 11282 et 11684 toises. Ainsi, une différence de 30 unités dans le dénominateur ne produit dans le diamètre polaire qu'un écart de 1130 toises, écart qui, si on le compare avec les inégalités visibles de la surface terrestre, paraît de si peu d'importance que je m'étonne à quel point les expériences concordent. Des observations isolées, éparses sur de vastes étendues de pays, nous en appren-

dront certainement moins que nous n'en savons déjà; mais il serait intéressant de relier entre elles les mesures prises sur toute la surface de l'Europe, et de faire entrer dans cette opération tous les points déterminés astronomiquement. » Malheureusement, d'après cette proposition, on ne saurait de la configuration de la Terre que ce qu'on en pourrait connaître par la péninsule qui forme le prolongement occidental du grand continent asiatique, sur un espace embrassant à peine 66 degrés et demi de longitude.— Les steppes de l'Asie septentrionale, et même la steppe moyenne des Kirghises, dont j'ai visité une partie considérable, sont souvent coupées par des collines, et, sous le rapport de l'étendue horizontale, ces plaines ne sont pas à comparer avec les Pampas de Buenos-Ayres et les Llanos de Venezuela. Les Llanos, situées à une grande distance des chaînes de montagnes, et couvertes, à la surface du sol, de formations sédimentaires et de couches tertiaires d'une densité également faible partout, pourraient fournir, à l'aide des anomalies produites dans les oscillations du pendule, des résultats purs de toute influence et tout à fait décisifs, sur la constitution locale des couches situées à une grande profondeur de la Terre. Voy. à ce sujet mes *Tableaux de la nature*, t. I, p. 2, 9 et 42-45 de la traduction française publiée par Gide.

(37) [page 34]. Bouguer, qui invita La Condamine à observer la direction du fil à plomb sur le Chimborazo, ne mentionne pas dans sa *Théorie de la figure de la Terre* p. 364-394) les recherches de Newton. Malheureusement, le mieux préparé des deux voyageurs n'observa pas sur les deux versants opposés de la gigantesque montagne, à l'Est et à l'Ouest. Les deux stations sur lesquelles il établit ses expériences, au mois de décembre 1738, étaient situées du même côté .l'une, dans la direction Sud 61°30′ Ouest, à 4 572 toises du centre de la montagne; l'autre, dans la direction Sud 16° Ouest, à une distance de 1 753 toises. La première station

fut établie dans une région qui m'est bien connue, probablement au-dessous de la hauteur sur laquelle est situé le petit lac alpin de Yana-Cocha; la seconde, dans la plaine de pierre ponce de l'Arénal (voy. La Condamine, *Voyage à l'Équateur*, p. 68-70). La déviation, calculée à l'aide des hauteurs d'etoiles, ne fut, contre toute attente, que de 7",5, ce que les observateurs eux-mêmes attribuèrent au voisinage de la neige éternelle qui rendait les expériences plus difficiles, au défaut de précision des instruments, et surtout aux vastes cavernes dont ils soupçonnaient l'existence dans l'immense dôme trachytique du Chimborazo. J'ai exprimé, au sujet de ces cavernes et de la très-faible masse que l'on a par suite attribuée à cette montagne, beaucoup de doutes fondés sur des principes géologiques. Au sud-sud-est du Chimborazo, près du village indien de Calpi, se trouve le cône d'éruption du Yana-Urcu, que j'ai soigneusement examiné avec Bonpland, et qui est certainement d'origine plus récente que le colosse de trachyte en forme de cloche. Boussingault et moi n'avons rien trouvé, sur la grande montagne, qui ressemble à un cratère. Voy. dans mes *Mélanges de Physique générale et de Géologie* (t. I, p. 150, de la traduction française) *l'Ascension au Chimborazo*.

(38) [page 34]. Baily, *Exper. with the torsion Rod for determining the mean density of the Earth*, 1843, p. 6; John Herschel, *Memoir of Francis Baily*, 1845, p. 24.

(39) [page 34]. *Cosmos*, t. I, p. 191-193 et 495, note 36.

(40) [page 34]. Reich, *Neue Versuche mit der Drehwage*, dans les *Abhandlungen der mathem. physischen Classe der Kœnigl. Sæchsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig*, 1852, t. I, p. 405 et 418. Les dernières recherches de mon excellent ami le professeur Reich se rapprochent un peu plus du beau travail de Baily. J'ai déduit la moyenne 5,5712 de plusieurs séries d'observations faites : 1° avec une sphère

d'étain et un fil de cuivre long et épais, qui ont donné pour résultat 5,5712 ; l'erreur probable étant de 0.0113; 2° avec la sphère d'étain et un fil de cuivre plus court et plus mince, auquel j'ai substitué un double fil de fer, le résultat a été de 5,5832, la part de l'erreur probable est de 0,0149. En tenant compte de ces deux séries d'expériences, on trouve pour moyenne 5,5756. Le résultat de Baily, obtenu, il est vrai, à la suite d'expériences plus nombreuses, peut être néanmoins un peu trop considérable, parce que la densité a pu paraître augmenter, en raison de la légèreté des sphères de verre ou d'ivoire dont il a été fait usage. Voy. Reich, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. LXXXV, page 190, et Whitehead Hearn, dans les *Philosoph. Transactions* for 1847, p. 217-229. A l'exemple de Reich, Baily observa le mouvement de la balance de torsion sur l'image d'une échelle réfléchie par un miroir fixé au milieu du fléau, comme dans les observations magnétiques de Gauss. Les avantages de ce miroir, qui permet de lire plus exactement les résultats, ont été signalés, dans les *Annalen* de Poggendorff, dès l'année 1826 (t. VII, p. 121).

(41) [page 35]. Les expériences qu'Airy vient de faire sur le pendule, en 1854, dans les mines de Harton, avec une précision merveilleuse, fournissent, sur la densité de la Terre, un résultat beaucoup plus important encore que les expériences de Baily et de Reich. D'après Airy, la densité est de 6,566, avec une erreur vraisemblable de 0,182. Voy. les *Philosoph. Transactions* for 1856, p. 342. Une légère modification apportée à cette valeur numérique par le professeur Stocke, en raison de l'effet de la rotation et de l'ellipticité terrestre, réduit la densité, pour Harton, situé par 54° 48′ de latitude Nord, à 6,565; pour l'équateur, à 6,489.

(42) [page 35]. *Cosmos*, t. I, p. 191.

(43) [page 36]. Laplace, *Mécanique céleste*, édit. de 1846,

t. V, p. 57. La pesanteur spécifique moyenne du granite doit être évaluée tout au plus à 2,7, attendu que la densité du mica blanc à base de potasse et à deux axes, et du mica vert magnésien à un seul axe varie de 2,85 à 3,1, et que celle des autres parties constituantes du granite, c'est-à-dire du quarz et du feldspath, est de 2,56 et 2,65. L'oligoclaze elle-même n'a pas une pesanteur spécifique supérieure à 2,68. Si la pesanteur de la hornblende s'élève jusqu'à 3,17, celle de la syénite, dans laquelle le feldspath prédomine toujours, reste fort au-dessous de 2,8. Comme d'ailleurs le schiste argileux varie de 2,69 à 2,78, et que, parmi les roches calcaires, la dolomie pure atteint seule 2,88, que la pesanteur de la craie est de 2,72, celle du gypse et du sel gemme 2,3, je tiens que la densité de la partie continentale de l'écorce terrestre, accessible à nos observations est plus voisine de 2,6 que de 2,4. Laplace, supposant que la densité augmente de la surface au centre en progression arithmétique, et partant de cette croyance, certainement erronée, que la densité de la couche supérieure est égale à 3, a trouvé pour la densité moyenne du globe terrestre 4,7647, nombre qui s'écarte du résultat de Reich, 5,577, et de celui de Baily, 5,660, beaucoup plus que ne le comportent les erreurs vraisemblables de l'observation. Après avoir discuté de nouveau l'hypothèse de Laplace, dans un intéressant Mémoire que doit publier bientôt l'éditeur des *Astronomische Nachrichten*, Plana conclut qu'en remaniant cette hypothèse, on arrive à reconnaître que la densité moyenne assignée par Reich à la Terre peut être considérée comme approchant beaucoup de la vérité, ainsi que le nombre 1,6, auquel j'ai évalué la densité de la surface solide et de la surface liquide de la Terre, et que l'ellipticité est comprise entre des limites déterminées vraisemblablement par ces dernières quantités. « Si la compressibilité des substances dont la Terre est formée, dit le géomètre de Turin, a été la cause qui a donné à ses couches des formes régulières, à peu près elliptiques, avec une densité croissante depuis la

surface jusqu'au centre, il est permis de penser que ces couches, en se consolidant, ont subi des modifications, à la vérité fort petites, mais assez grandes pour nous empêcher de pouvoir dériver, avec toute l'exactitude que l'on pourrait souhaiter, l'état de la Terre solide de son état antérieur de fluidité. Cette réflexion m'a fait apprécier davantage la première hypothèse proposée par l'auteur de la *Mécanique céleste*, et je me suis décidé à la soumettre à une nouvelle discussion. »

(44) [page 37]. Petit, *sur la latitude de l'Observatoire de Toulouse, la densité moyenne de la chaîne des Pyrénées, et la probabilité qu'il existe un vide sous cette chaîne,* dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXIX, 1849, p. 730.

(45) [page 38]. *Cosmos*, t. I, p. 199 et 499, note 40.

(46) [page 39]. Hopkins, dans le *Report of the British Association* for 1838, p. 92 (Physical Geology); *Philosoph. Transactions*, 1839, 2e part., p. 381, et 1840, 1re part., p. 193; Henry Hennessey, dans les *Philosoph. Transactions*, 1851, 2e part., p. 504 et 525 (Terrestrial Physics).

(47) [page 39]. *Cosmos*, t. I, p. 272 et 528, note 25.

(48) [page 40]. Les observations communiquées par Walferdin datent de l'automne de l'année 1847; elles s'écartent peu des résultats obtenus par Arago, en 1840, avec l'appareil même de Walferdin, lorsque la sonde fut parvenue à 505 mètres de profondeur, et commença à pénétrer dans le gault, après avoir traversé la craie. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 196 et 498 (note 38); *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XI, 1840, p. 707, et dans les Œuvres d'Arago, *Notices scientifiques*, t. III, p. 385.

(49) [page 41]. Ces nombres sont extraits des notes manuscrites du Directeur général des Mines, M. d'Oeynhausen. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 486, note 24, et 498, note 38, et

Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physischen Geologie*, t. I, 1re part., p. 154-163. Par rang de profondeur absolue, le puits artésien de Mondorf, dans le grand-duché de Luxembourg, vient immédiatement après celui de Neu-Salzwerk; il a 2066 pieds.

(50) [page 41]. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 498, et *Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Genève*, t. VI, 1833, p. 243. La comparaison d'un grand nombre de puits artésiens situés aux environs de Lille avec ceux de Saint-Ouen et de Genève permettrait d'attribuer une plus grande influence à la conductibilité des roches et des couches terrestres, si l'on pouvait avoir une égale confiance dans la justesse de tous les résultats. Voy. Poisson, *Théorie mathématique de la Chaleur*, p. 421.

(51) [page 42]. Parmi 14 puits artésiens, ayant plus de 100 mètres de profondeur, et répandus sur les parties les plus distantes de la France, Bravais, dans l'instructive encyclopédie qui a pour titre *Patria* (1847, p. 145), en cite 9 pour lesquels la profondeur correspondante à une augmentation de température d'un degré tombe entre 27 et 39 mètres, et qui, par conséquent, s'écartent de la moyenne donnée dans le texte (32 mètres) de 5 à 6 mètres en plus ou en moins. Voy. aussi Magnus, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXII, 1831, p. 146. En général, l'accroissement de la température paraît plus rapide dans les puits artésiens d'une très-faible profondeur. Cependant, les puits très-profonds de Monte-Massi, en Toscane, et de Neuffen, dans la partie nord-ouest des Alpes Souabes, forment de remarquables exceptions.

(52) [page 43]. Quetelet, dans le *Bulletin de l'Académie de Bruxelles*, 1836, p. 75.

(53) [page 43]. Forbes, *Exper. on the temperature of the Earth at different depths*, dans les *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, t. XVI, 1849, 2e part., p. 189.

(54) [page 44]. Tous les nombres concernant la température des caves de l'Observatoire sont empruntés à la *Théorie mathématique de la Chaleur* de Poisson (p. 415 et 462). D'autre part, l'*Annuaire météorologique de la France*, publié par Martins et Hæghens (1849, p. 88) contient les corrections apportées par Gay-Lussac au thermomètre souterrain de Lavoisier, et qui s'écartent de ce résultat. Le thermomètre de Lavoisier a donné pour la moyenne de trois mois, du mois de juin au mois d'août, 12°,193, tandis que Gay-Lussac trouvait 11°,843 : différence 0°,350. Voy. dans les Œuvres d'Arago, *Notices scientifiques*, t. V, p. 644.

(55) [page 45]. Cassini, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1786, p. 511.

(56) [page 46]. Boussingault, *sur la profondeur à laquelle on trouve dans la zone torride la couche de température invariable*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. LIII, 1833, p. 225-247. John Caldecott, l'astronome du Rajah de Travancore, et le capitaine Newbold ont présenté des objections contre la méthode recommandée dans ce Mémoire et consacrée par un si grand nombre d'observations précises dans l'Amérique du Sud. Caldecott a trouvé à Trevandrum qu'à trois pieds dans le sol et au-dessous, plus bas par conséquent que ne le prescrit Boussingault, le thermomètre de Fahrenheit marquait 85° et 86°, la température moyenne de l'air étant à 82°,02. Voy. *Edinb. Transactions*, t. XVI, 3e part., p. 379-393. Les expériences de Newbold, à Bellary, dans les Indes, par 15° 5′ de latitude, ont encore donné, à un pied de profondeur, depuis le lever du Soleil jusqu'à deux heures de l'après-midi, une augmentation de 4° du thermomètre de Fahrenheit; mais à Cassargode, par 12° 29′, sous un ciel chargé de nuages, l'augmentation n'était que de 1° 1/2. Les thermomètres étaient-ils couverts comme ils doivent l'être, et à l'abri de l'insolation? Voy. aussi à ce sujet Forbes, *Exper. on the temperature of the Earth at different depths,* dans les *Edinb. Transactions*, t. XVI,

2e part., p. 189. Le colonel Acosta, le savant historien de la Nouvelle-Grenade, a fait depuis un an, à Guaduas, sur la pente sud-ouest du plateau de Bogota, où la température moyenne annuelle est de 23°,8, une longue série d'observations avec un thermomètre enfoncé à un pied sous le sol et dans un espace couvert. Ces expériences confirment pleinement les assertions de Boussingault. « Les observations du colonel Acosta, dont vous connaissez la grande précision en tout ce qui interroge la météorologie, prouvent, m'écrit Boussingault, que, dans les conditions d'abri, la température reste constante entre les tropiques à une très-petite profondeur. »

(57) [page 47]. Sur Gualcayoc, autrement appelé Minas de Chota, et sur Micuipampa, voy. Humboldt, *Recueil d'Observations astronomiques*, t. I, p. 324.

(58) [page 47]. Humboldt, *Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne*, 2e édit., t. III, p. 201.

(59) [page 49]. Voy. E. von Beer, dans le *Reise in Sibirien* de Middendorff, t. I, p. VII.

(60) [page 49]. Fedor Schergin, directeur du comptoir de la Compagnie russo-américaine, fit commencer, en 1828, le forage d'un puits dans la cour d'une maison appartenant à la Compagnie. On était arrivé, en 1830, à la profondeur de 90 pieds. Voyant que l'on n'avait trouvé encore que de la glace et pas d'eau, Schergin abandonna l'entreprise. L'amiral Wrangel, qui, en se rendant à Sitcha, s'était arrêté à Iakoutsk, comprit le grand intérêt scientifique attaché au forage de cette couche de glace souterraine, et engagea Schergin à poursuivre les travaux jusqu'au bout. En 1837, on était parvenu à 382 pieds anglais de profondeur, et l'on n'avait pas encore franchi la glace.

(61) [page 50]. Middendorff, *Reise in Sibirien*, t. I, p. 125-133. « Excluons d'abord, dit Middendorff, les profondeurs qui n'atteignent pas 100 pieds, parce qu'il résulte des expé-

riences faites jusqu'à ce jour en Sibérie que ces profondeurs sont soumises aux variations annuelles de la température; il restera encore, pour les profondeurs plus considérables, des anomalies partielles : ainsi, de 150 à 200 pieds, un accroissement de chaleur de 1° Réaumur répond à 66 pieds anglais; la proportion est de 217 pieds anglais pour 1° Réaumur de 250 à 300 pieds. Nous sommes donc autorisés à dire que les faits révélés jusqu'ici par l'examen du puits de Schergin ne suffisent pas pour déterminer avec certitude la progression de la température, et que cependant, malgré des écarts considérables, produits peut-être par les différences de conductibilité dans les différentes couches terrestres, par les influences perturbatrices de l'air extérieur ou de la pluie qui pénètre à l'intérieur, on peut affirmer que l'augmentation de température n'est pas, pour 1° Réaumur, de plus de 100 à 117 pieds anglais. » Le nombre 117 est une moyenne entre six augmentations partielles de température observées de 50 en 50 pieds, depuis 100 jusqu'à 382 pieds de profondeur. Si je compare la température annuelle de l'air à Iakoutsk (— 8°,13 R.) avec la température moyenne de la glace, à la profondeur de 382 pieds anglais, je trouve qu'à 1° Réaumur correspondent 66 3/5. On trouverait 100 pieds en comparant la température de la partie la plus basse avec celle qui règne à 100 pieds de profondeur. Des recherches numériques, faites avec beaucoup de sagacité par Middendorff et Peters, sur la vitesse avec laquelle se propagent les variations de la température atmosphérique et sur les maxima du froid et du chaud, il résulte que « dans les puits artésiens, à la profondeur de 7 à 20 pieds seulement, la température s'élève du mois de mars au mois d'octobre, et qu'elle s'abaisse du mois de novembre au mois d'avril, parce que le printemps et l'automne sont les saisons où la température atmosphérique subit les changements les plus sensibles. » Voyez Middendorff, *Reise in Sibirien*, p. 133-157 et 168-175. Les puits même soigneusement recouverts se refroidissent peu

à peu, dans le nord de la Sibérie, par le contact, prolongé pendant plusieurs années, de l'air avec les parois du puits. Cependant, dans le puits de Schergin, ce contact a produit à peine en dix-huit ans un abaissement de température d'un demi-degré. Un phénomène remarquable et inexpliqué jusqu'ici, qui s'est présenté aussi dans le puits de Schergin, c'est l'échauffement que l'on a remarqué en hiver seulement, et quelquefois dans les couches les plus profondes, sans que l'on ait pu reconnaître aucune influence extérieure (voy. *Ibid.*, p. 156 et 178). Il me paraît bien plus surprenant encore que dans le puits artésien de Wedensk, sur la Pæsina, par une température atmosphérique de — 28° Réaumur, on ait trouvé, à la profondeur de 5 à 8 pieds seulement, la température égale à — 2°,5. Les lignes isogéothermes, sur la direction desquelles les ingénieuses recherches de Kupffer nous ont fourni les premières données (voy. le *Cosmos*, t. I, p. 248 et 522, note 1) offriront longtemps encore des problèmes insolubles. La tâche est surtout difficile dans les contrées où le forage complet de la couche de glace exige un travail long et pénible. Le sol de glace que l'on a trouvé à Iakoutsk ne peut plus être aujourd'hui considéré comme un phénomène local, dû, ainsi que le supposait le Directeur général des Usines Slobin, à des couches de terre précipitées par l'action des eaux. Voy. Middendorff, *ibid.*, p. 167.

(62) [page 50]. Voy. *Cosmos*, t. IV, p. 42.

(63) [page 51]. Voy. Middendorff, *Reise in Sibirien*, t. I, p. 160, 164 et 179. Dans ces conjectures numériques sur l'épaisseur du sol de glace, on suppose que la température augmente avec la profondeur suivant une progression arithmétique. La question de savoir si, à des profondeurs plus considérables, la chaleur continue à croître est théoriquement incertaine, et par conséquent il faut se défier de calculs fantastiques sur les masses de roches hétérogènes en fusion dont

les mouvements désordonnés modifieraient la température centrale de la Terre.

(64) [page 52]. Schrenk, *Reise durch die Tundern der Samojeden*, 1848, 1re part., p. 597.

(65) [page 52]. Gust. Rose, *Reise nach dem Ural*, t. I, p. 428.

(66) [page 53]. Voy. les expériences de mon ami G. de Helmersen sur la conductibilité relative des différentes roches, dans les *Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg* (Mélanges physiques et chimiques, 1851, p. 32).

(67) [page 54]. Voy. Middendorff, *Reise in Sibirien*, t. I, p. 66, et comp. un autre passage, p. 179 : « La ligne qui marque le commencement du sol de glace paraît former, dans le nord de l'Asie, deux saillies dont la convexité est dirigée vers le sud : l'une, dont la courbure est peu sensible, sur les bords de l'Obi ; l'autre, très-fortement accusée, sur les bords de la Lena. Cette limite court de Beresow, sur l'Obi, vers Tourouchansk, sur le Jenisei ; de là elle passe entre Witimsk et Olekminsk, longe la rive droite de la Lena, et après avoir remonté vers le Nord, reprend sa direction vers l'Est. »

(68) [page 57]. Le passage le plus important sur la chaîne magnétique formée d'anneaux est dans l'Ion de Platon (p. 533, D, E, édit. de Henri Estienne). Plus tard, cette propagation de la force attractive est mentionnée dans Pline (l. XXXIV, c. 14) ; dans Lucrèce (l. VI, v. 910) ; dans Saint-Augustin (*de Civitate Dei*, l. XX, c. 4), et dans Philon (*de Opificio Mundi*, p. 32 D, édit. de 1691).

(69) [page 58]. *Cosmos*, t. I, p. 210 et 509 (notes 61 et 62) ; t. II, p. 309-312, 337-342, 556 (n. 59), et 571-573 (n. 91-93).

(70) [page 59]. Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. XL-XLII. *Examen critique de l'Histoire de la Géographie du Nouveau Continent*, t. III, p. 35. Édouard Biot qui, soit seul, soit avec

le secours de mon ami Stanislas Julien, a confirmé et agrandi les recherches de Klaproth, sur l'époque à laquelle remonte l'usage de l'aiguille aimanté en Chine, cite une tradition qui n'est relatée pour la première fois que chez des écrivains des premiers siècles du christianisme, mais qui remonte beaucoup plus haut. D'après cette tradition, les chars magnétiques étaient déjà en usage sous le règne du célèbre Hoang-ti, qui paraît avoir vécu 2600 ans avant notre ère, c'est-à-dire 1000 ans avant l'époque où les Hycsos furent expulsés de l'Égypte. Voy. Édouard Biot, *sur la direction de l'aiguille aimantée en Chine,* dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XIX, 1844, p. 362.

(71) [page 59]. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 210 et 509, note 61. Aristote lui-même (*de Anima*, l. I, c. 2) ne mentionne l'âme de l'aimant que d'après une opinion de Thalès. Diogène Laerce étend formellement cette croyance à l'ambre lorsqu'il dit : « Aristote et Hippias affirment au sujet de la théorie de Thalès, etc. » Le sophiste Hippias d'Élis, qui se vantait de tout savoir, s'occupait de l'étude de la nature et des plus anciennes traditions qui avaient pris naissance dans l'école physiologique. Le souffle attractif du vent qui, d'après le physicien chinois Kuopho, passe à travers l'aimant et l'ambre, rappelle le nom aztèque de l'aimant : *tlaihioanani tetl*, c'est-à-dire, d'après les recherches de Buschmann sur les langues mexicaines, la pierre qui attire à elle par le souffle, de *ihieth*, souffle, respiration, et *ana*, attirer.

(72) [page 60]. On a retrouvé dans le *Mung-khi-pi-than*, et avec plus de détails, ce que Klaproth a tiré du *Penthsaoyan*, au sujet de ce remarquable appareil. Voy. les *Comptes rendus*, t. XIX, p. 365. Pourquoi est-il dit dans le Mémoire de Klaproth, ainsi que dans un livre de botanique chinois : le cyprès indique la direction de l'Ouest, et plus généralement, l'aiguille aimantée indique la direction du Sud. Cela vient-il de ce que l'on suppose un développement des bran-

ches suivant la position du Soleil ou la direction dominante du vent?

(73) [page 64]. Humboldt, *Examen critique de l'Histoire de la Géographie du Nouveau Continent*, t. III, p. 54.

(74) [page 66]. Voy. *Cosmos*, t. II, p. 557-561. Sous le règne du roi Édouard III d'Angleterre, à une époque où, ainsi que l'a démontré Sir Nicholas Harris Nicolas (*History of the royal Navigation*, 1847, t. II, p. 180), la navigation était toujours réglée par la boussole, alors appelée *sailstone dial*, *sailing needle* ou *adamante*. On fit venir, en 1345, pour le *King's ship the George*, seize horloges (hour-glasses) achetées en Flandre, et qui figurent sur le registre des dépenses; mais cela ne prouve nullement l'usage du loch. Il résulte du témoignage de Enciso, cité par Cespedès, que longtemps avant qu'on ne se servit de cet appareil, on avait senti le besoin du sablier (ampolleta), pour corriger ce qu'il pourrait y avoir de trop aventureux dans les évaluations, *echando punto por fantasia* dans la *coreadera de los perezos*.

(75) [page 67]. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 499, note 41, et p. 501, note 44, t. II, p. 399-401, 610, notes 70-72, et 613, note 88. Le pôle Nord magnétique était appelé *Calamitico*, à cause de la forme de grenouille donnée aux premières aiguilles des boussoles.

(76) [page 67]. Voy. Gilbert, *Physiologia nova de Magnete*, l. III, c. 8, p. 124. Pline dit déjà d'une manière générale que la propriété magnétique peut, avec le temps, se communiquer au fer, mais sans parler du frottement. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 502, note 49. Il est singulier de voir Gilbert traiter dédaigneusement cette opinion *vulgaire*, dit-il, « de montibus magneticis aut rupe aliqua magnetica, de polo phantastico a polo mundi distante ». (*Ibid.*, p. 42 et 98). Les changements de la déclinaison et le déplacement des lignes magnétiques lui étaient tout à fait inconnus : « Varietas unius-

cujusque loci constans est. » (*Ibid.*, p. 42, 98, 152 et 153).

(77) [page 67]. *Historia natural de las Indias*, l. I, c. 17.

(78) [page 68]. *Cosmos*, t. I, p. 205.

(79) [page 68]. En citant les observations d'inclinaison que j'ai recueillies moi-même dans la mer du Sud, avec tout le soin désirable, j'ai fait voir de quelle utilité pratique l'inclinaison peut être pour déterminer les latitudes, à l'époque où règne sur les côtes du Pérou le brouillard nommé *garua* qui obscurcit le Soleil et les étoiles (voy. *Cosmos*, t. I, p. 201 et 401, note 44). Le jésuite Cabeus, auteur de la *Philosophia magnetica* (in qua nova quædam pyxis explicatur, quæ poli elevationem ubique demonstrat), a aussi attiré l'attention sur cet objet, dans la première moitié du XVIIe siècle.

(80) [page 69]. Edmond Halley, dans les *Philosoph. Transactions* for 1683, t. XII, n° 148, p. 216.

(81) [page 69]. Le Père Christophe Burrus de Lisbonne avait aussi tracé de semblables lignes, nommées par lui *tractus chalyboeliticos*, sur une carte qu'il offrit au roi d'Espagne pour un prix très-considérable, comme un moyen de reconnaître et de déterminer les longitudes en mer. Ce fait est raconté dans le *Magnes* de Kircher (2e édit., p. 443). J'ai mentionné déjà (*Cosmos*, t. IV, p. 64) la plus ancienne carte de variations, qui date de l'année 1530.

(82) [page 70]. Vingt ans après que Halley eut dressé à Sainte-Hélène son catalogue des étoiles du Sud, qui n'en contient malheureusement aucune au-dessous de la 6e grandeur, Hevelius se vantait encore, dans le *Firmamentum Sobescianum*, de ne point employer de lunette et d'observer avec des dioptres. Halley, lorsqu'il visita Dantzig, assista à ces observations, dont il a d'ailleurs trop loué l'exactitude. Voy. *Cosmos*, t. III, p. 49, 281 (notes 91 et 92), 125, 372 et 643 (note 13).

(83) [page 71]. Hellibrand, et le Père Tachard avaient déjà reconnu, le premier à Londres, en 1634, le second à Siam, en 1682, des traces des variations diurnes et horaires de la déclinaison magnétique.

(84) [page 72]. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 505-508 (note 59). C'est l'excellente disposition de la boussole d'inclinaison construite par Lenoir, sur les indications de Borda, qui a rendu possible la mesure exacte de la force terrestre sous les différentes latitudes, en permettant à l'aiguille d'osciller librement et de décrire de plus grands arcs de cercles, en diminuant d'une manière notable le frottement des pivots, et grâce au soin pris d'adapter des pinnules à l'appareil.

(85) [page 74]. Les nombres placés en tête de chaque alinéa indiquent l'époque des observations. Ceux qui sont compris entre parenthèses et joints au titre d'un ouvrage marquent l'année de la publication, qui souvent est de beaucoup postérieure aux expériences.

(86) [page 78]. Malus découvrit la polarisation par réflexion en 1808, Arago la polarisation chromatique en 1811. Voy. *Cosmos*, t. II, p. 397.

(87) [page 79]. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 202 et 502 (note 47).

(88) [page 80]. Before the practice was adopted of determining *absolute values*, the most generally used scale (and which still continues to be very frequently referred to) was founded on the time of vibration observed by Mr. de Humboldt, about the commencement of the present century, at a station in the Andes of South America, where the direction of the dipping-needle was horizontal, a condition which was for some time erroneously supposed to be an indication of the minimum of magnetic force at the Earth's surface. From a comparison of the times of vibration of M. de Humboldt's needle in South America and in Paris, the ratio of the ma-

gnetic force at Paris to what was supposed to be its minimum was inferred (1,348), and from the results so obtained, combined with a similar comparison made by myself between Paris and London in 1827, with several magnets, the ratio of the force in London to that of Mr. de Humboldt's original station in South America has been inferred to be 1,372 to 1,000. This is the origin of the number 1,372 which has been generally employed by British observers. By absolute measurements we are not only enabled to compare numerically with one another the results of experiments made in the most distant parts of the globe, with apparatus not previously compared, but we also furnish the means of comparing hereafter the intensity which exists at the present epoch, with that which may be found at future periods. » (Sabine, *Manual for the use of the British Navy*, 1849, p. 17).

(89) [page 82]. Celsius est le premier qui ait senti le besoin d'observations magnétiques faites de concert et simultanément. Sans mentionner encore l'influence de la lumière polaire sur la déclinaison, influence découverte et, qui plus est, mesurée, au mois de mars 1741, par son collaborateur Olav Hiorter, il proposa à Graham, dans l'été de la même année, de s'associer à ses recherches et de voir si certaines perturbations extraordinaires, que la marche horaire de l'aiguille subissait de temps en temps à Upsal, se produisaient aux mêmes moments à Londres. La simultanéité des perturbations prouverait, disait-il, que l'influence qui les causait s'étendait sur de vastes étendues de pays, et ne se bornait pas à des effets fortuits et locaux. Voy. Celsius, dans *Svenska Vetenskaps Akademiens Handlingar* för 1740, p. 44; Hiorter, *ibid.*, 1747, p. 27. Lorsque Arago eut reconnu que les perturbations magnétiques produites par la lumière polaire s'étendent à des contrées où le phénomène lumineux de l'orage magnétique n'est point visible, il concerta avec notre ami commun, Kupffer, des observations horaires, faites simultanément à Paris et à

Kasan, éloigné de Paris de 47° environ. J'ai organisé aussi, en 1828, avec Arago et Reich, des observations simultanées sur la déclinaison, à Paris, à Freiberg et à Berlin. Voy. les *Annalen* de Poggendorff, t. XIX, p. 337.

(90) [page 89]. Le Mémoire de Rodolphe Wolf, cité dans le texte, contient des observations journalières sur les taches du Soleil, faites par lui-même du 1er au 30 juin 1852, et une comparaison des expériences de Lamont sur les changements périodiques de la déclinaison, avec les résultats de Schwabe sur la fréquence des taches solaires, comparaison qui comprend les années 1835-1850. Ce Mémoire fut présenté à la Société des Sciences naturelles, dans une séance tenue à Berne le 31 juillet 1852, et le Mémoire plus complet du colonel Sabine fut soumis, au commencement du mois de mars 1852, à la Société royale de Londres, où il fut lu dans les premiers jours du mois de mai de la même année. Voy. *Philosoph. Transactions* for 1852, 1re part., p. 116-121. D'après les recherches les plus récentes sur les observations des taches solaires, Wolf a trouvé que de 1600 à 1852, la période a été en moyenne de 11,11 années.

(91) [page 91]. Voy. le *Cosmos*, t. III, p. 452 et 677, note 27. Le bismuth, l'antimoine, l'argent, le phosphore, le sel gemme, l'ivoire, le bois, les rouelles de pomme et le cuir ressentent, dans le voisinage d'un aimant énergique, une répulsion diamagnétique, et prennent une direction équatoriale, c'est-à-dire de l'Est à l'Ouest. L'oxygène, au contraire, soit pur, soit mélangé avec d'autres gaz ou condensé dans les interstices du charbon, est paramagnétique. Pour les corps cristallisés, on peut voir dans les *Annalen* de Poggendorff (t. LXXIII, p. 178), et *Philosoph. Transactions* for 1851 (§ 2836-2842), ce que l'ingénieux Plucker a trouvé d'après la position de certains axes. L'effet de répulsion produit par le bismuth a été reconnu, pour la première fois, par Brugmans (1778), et étudié plus à fond par Le Baillif (1827) et par Seebeck

(1828). Faraday lui-même, Reich et Wilhelm Weber, qui a déployé un zèle si constant pour les progrès du magnétisme terrestre, ont mis en lumière la connexité des phénomènes diamagnétiques avec ceux de l'induction. Voy. *Philosoph. Transactions* for 1851, § 2429-2431; Poggendorff's *Annalen*, t. LXXIII, p. 241 et 253. Weber s'est efforcé aussi de démontrer que le diamagnétisme a sa source dans les courants moléculaires d'Ampère. Voy. Weber, *Abhandlungen ueber electro-dynamische Maassbestimmungen*, 1852, p. 545-570.

(92) [page 91]. Pour créer cette propriété polaire, il faut que, dans chaque molécule de gaz oxygène, l'*action à distance* du corps terrestre établisse entre les fluides magnétiques certains intervalles, dans une direction et avec une force déterminées. Chaque molécule d'oxygène représente ainsi un petit aimant, et tous ces petits aimants réagissent les uns sur les autres, ainsi que sur le corps terrestre, et concurremment avec lui, pour agir enfin sur une aiguille que l'on suppose placée en dedans ou en dehors de l'atmosphère. L'oxygène qui enveloppe la Terre peut être comparé à une armure de fer doux adaptée à un aimant naturel ou à un morceau de fer aimanté, en supposant à cet aimant naturel ou artificiel la forme sphérique de la Terre, et à l'armature la forme d'une sphère creuse, telle que celle de l'enveloppe atmosphérique. La limite jusqu'à laquelle chaque molécule d'oxygène peut être magnétisée par la force constante de la Terre (magnetic power) s'abaisse avec la température, et à mesure que l'oxygène se raréfie. Comme un accroissement de température et de dilatation suit constamment le mouvement que le Soleil semble accomplir de l'Est à l'Ouest autour de la Terre, il en résulte naturellement des modifications dans les relations magnétiques de la Terre et de l'oxygène qui l'enveloppe, et c'est là, suivant Faraday, la source d'une partie des variations par lesquelles passent les éléments du magnétisme terrestre. Plucker estime que, en raison de la

proportion qui existe entre la force avec laquelle l'aimant agit sur le gaz oxygène et la densité du gaz, l'aimant offre un moyen eudiometrique bien simple de reconnaître, à 1 ou 2 centièmes près, la présence de l'oxygène dans un mélange de gaz.

(93) [page 94]. Voy. *Cosmos*, t. IV, p. 9 et 10.

(94) [page 94]. Kepler, *Stella Martis*, p. 32 et 34. Voy. aussi son *Mysterium cosmographicum*, c. 20, p. 71.

(95) [page 95]. Voy. le *Cosmos*, t. III, p. 674 (note 20), où, au lieu des mots *Basis Astronomiæ* de Horrebow, il faut lire *Clavis Astronomiæ*. Le passage de ce livre (§ 226), où la lumière solaire est appelée une aurore boréale perpétuelle, ne se trouve pas dans la première édition (Havn., 1730), mais bien dans la seconde, ajoutée au premier volume de la collection des *Opera mathematico-physica* d'Horrebow (Havn., 1740, p. 317). On peut comparer aux idées d'Horrebow les vues tout à fait analogues de sir William et de sir John Herschel. Voy. *Cosmos*, t. III, p. 40 et 212.

(96) [page 95]. *Mémoires de Mathématique et de Physique présentés à l'Académie royale des Sciences*, t. IX, 1780, p. 262.

(97) [page 96]. « So far as these four stations, Toronto, Hobarton, St-Helena and the Cape, so widely separated from each other and so diversely situated, justify a generalisation, we may arrive to the conclusion that, at the hour of 7 to 8 a. m., the magnetic declination is *everywhere* subject to a variation of which the period is a year, and which is everywhere similar in character and amount, consisting of a movement of the north and of the magnet from east to west between the northern and the southern solstice, and a return from west to east between the southern and the northern solstice, the amplitude being about 5 minutes of arc. The *turning periods of the year* are not, as many might be dis-

posed to anticipate, *those months, in which the temperature at the surface of our planet, or of the subsoil, or of the atmosphere* (as far as we possess the means of judging of the temperature of the atmosphere) *attains its maximum and minimum.* Stations so diversely situated would indeed present in these respects *thermic conditions* of great variety : whereas uniformity in the epoch of the *turning periods* is a not less conspicuous feature in the annual variation than similarity of character and numerical value. At all the stations the *solstices* are the turning periods of the annual variation at the hour of which we are treating, — the only periods of the year in which the diurnal or horary variation at that hour does actually disappear are at the *equinoxes,* when the Sun is passing from the one hemisphere to the other, and when the magnetic direction, in the course of its annual variation from east to west, or vice versa, coincides with the direction which is the mean declination of all the months and of all the hours — the *annual variation* is obviously connected with and dependent on the *Earth's position* in its orbit relatively to the Sun, around which is revolves ; as the *diurnal variation* is connected with and dependent on the *relation of the Earth* on its axis, by which each meridian successively passes through every angle of inclination to the Sun in the round of 24 hours. » (Sabine, *on the annual and diurnal Variations,* dans le 2e tome encore inédit des *Observations at Toronto,* p. XVII-XX. Voy. aussi du même savant le Mémoire *on the annual Variation of the magnetic Declination at different periods of the Day,* dans les *Philos. Transactions for* 1851, 2e part., p. 635, et l'introduction aux *Observations at Hobarton,* t. I, p. XXXIV-XXXVI.

(98) [page 96]. Sabine, *on the means adopted for determining the absolute values, secular change and annual variation of the terrestrial magnetic Force,* dans les *Philosoph. Transactions for* 1850, 1re part., p. 216. On lit encore, dans

le Discours d'ouverture prononcé par Sabine à l'Assemblée de Belfast (*Meeting of the British Association in* 1852) : « It is a remarkable fact which has been established, that the magnetic force is greater, in both the northern and southern hemispheres, in the months of December, January and February, when the Sun is nearest to the Earth, than in those of May, June and July, when he is most distant from it : whereas, if the effects were due to temperature, the two hemispheres should be oppositely instead of similarly affected in each of the two periods referred to. »

(99) [page 96]. Lamont, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. LXXXIV, p. 579.

(100) [page 97]. Sabine, *on periodical laws discoverable in the mean effects of the larger magnetic Disturbances,* dans les *Philosoph. Transactions for* 1852, 1re part., p. 121. Voy. aussi *Cosmos*, t. IV, p. 87, nº 9.

(1) [page 97]. *Cosmos*, t. III, p. 435.

(2) [page 98]. *Cosmos*, t. III, p. 192.

(3) [page 98]. Kreil, *Einfluss des Mondes auf die magnetische Declination,* 1852, p. 27, 29 et 46.

(4) [page 99]. *Cosmos*, t. I, p. 475 (note 85), et, en ce qui concerne les aérolithes, p. 136 et 137. Voy. aussi t. III, p. 601.

(5) [page 101]. Voy. Mary Somerville, dans sa courte mais lumineuse exposition du magnétisme terrestre, faite d'après les travaux de Sabine. (*Physical Geography*, t. II, p. 102). Sir John Ross, qui, dans sa grande expédition antarctique, a coupé, au mois de décembre 1839, la courbe de la plus faible intensité, par 19° de latitude australe, 31° 35′ de longitude occidentale, et qui a le mérite d'avoir déterminé le premier la situation de cette ligne dans l'hémisphère du Sud,

la nomme *Equator of less intensity* (*Voyage to the southern and antarctic Regions*, t. I, p. 22).

(6) [page 101]. « *Stations of an intermediate character*, situated between the northern and southern magnetic hemispheres, partaking, although in opposite seasons, of those contrary features which separately prevail (in the two hemispheres) throughout the year. » (Sabine, dans les *Philosoph. Transactions for* 1847, 1re part., p. 53 et 57.

(7) [page 101]. « Le pôle *of intensity* n'est pas le pôle *of verticity*. Voy. *Philos. Transactions for* 1846, 3e part., p. 255.

(8) [page 101]. Gauss, *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*, § 31.

(9) [page 102]. *Philosoph. Transactions for* 1724, t. XXXIII, 1725, p. 332 : « To try, if the dip and vibrations were constant and regular ».

(10) [page 102]. *Novi Commentarii Academ. Scient. Petropolit.*, *pro anno* 1769, t. XIV, 2e part., p. 33. Voy. aussi Lemonnier, *Lois du Magnétisme comparées aux Observations*, 1776, p. 50.

(11) [page 102]. *Voyage de la Pérouse*, t. I, p. 162.

(12) [page 103]. *Cosmos*, t. IV, p. 71.

(13) [page 104]. Il est bon de rappeler que, dans les déterminations de lieux astronomiques, le signe + placé devant le nombre indique les latitudes boréales, le signe — les latitudes australes, et que les longitudes orientales et occidentales sont calculées, non d'après le méridien de Greenwich, mais d'après celui de Paris, à moins que le contraire ne soit spécifié. Les passages qui, dans la partie de ce volume consacrée au magnétisme terrestre (p. 88-170), sont compris entre guillemets, sans qu'un titre d'ouvrage soit indiqué dans les notes

correspondantes, sont empruntés aux manuscrits qu'a bien voulu me communiquer mon ami le colonel Sabine.

(14) [page 104]. Erman, *Magnetische Beobachtungen*, p. 172 et 540 ; Sabine, dans les *Philosoph. Transactions for* 1850, 1re part., p. 218.

(15) [page 105]. *Fifth Report of the British Association*, p. 72 ; *Seventh Report*, p. 64 et 68 ; *Contributions to terrestrial Magnetism*, n° VII, dans les *Philosoph. Transactions for* 1846, 3e part., p. 254.

(16) [page 106]. Sabine, dans le *Seventh Report of the British Association*, p. 77.

(17) [page 106]. Sir James Ross, *Voyage in the southern and antarctic Regions*, t. I, p. 322. Ce grand navigateur a coupé deux fois la ligne de la plus grande intensité, entre Kerguelen et Van Diemen, la première fois, par 46° 44′ de latit. australe et 126° 6′ de longit. orientale, point où l'intensité s'élevait jusqu'à 2,034, pour s'abaisser à l'Est, dans la direction d'Hobarton, jusqu'à 1,824 (*ibid.*, t. 103 et 104) ; la seconde fois, une année plus tard, du 1er juin au 3 avril 1841, Sir John Ross trouva, d'après le journal de bord de l'Erebus, que depuis la latitude de — 77° 47′ (longit. 173° 21′ E.) jusqu'à celle de — 51° 16′ (longit. 134° 30′ E.), l'intensité était sans interruption supérieure à 2,00 et s'élevait même à 2,07 (voy. *Philos. Transactions for* 1843, 2e part., p. 211-215). Le résultat auquel est arrivé Sabine pour l'un des foyers de l'hémisphère méridional (lat. — 64°, longit. 135° 10′ E.), et que j'ai indiqué dans le texte, est tiré des observations recueillies par Sir James Ross du 19 au 27 mars 1841 (crossing the southern isodynamic ellipse of 2,00 about midway between the extremities of its principal axis), entre — 58° et — 64° 26′ de latitude, 126° 20′ et 146° 0′ de longitude orientale. Voy. *Contribut. to terrestr. Magnetism*, dans les *Philos. Transactions for* 1846, 3e part., p. 252

(18) [page 106]. Ross, *Voyage*, etc., t. II, p. 224. D'après les instructions données au départ, on supposait les deux foyers méridionaux de la plus grande intensité situés par — 47° de latitude, 140° de longitude orientale, et — 60° de latitude, 235° de longitude orientale, comptés à partir du méridien de Greenwich.

(19) [page 107]. *Philos. Transactions for* 1850, 1re part., p. 201 ; *Admiralty Manual*, 1849, p. 16 ; Erman, *Magnetische Beobachtungen*, p. 437-454.

(20) [page 107]. *Cosmos*, t. IV, p. 80.

(21) [page 108]. Sur la carte des lignes isodynamiques de l'Amérique septentrionale, jointe au Mémoire de Sabine : *Contributions to terrestrial Magnetism*, n° VII, il faut lire 14,21 au lieu de 14,88 ; le véritable nombre se trouve dans le texte de la dissertation, p. 252. Dans l'addition à la note 158, ajoutée par Sabine au 1er volume de la traduction anglaise du *Cosmos*, on a imprimé aussi 13,9 à la place de 14,21.

(22) [page 108]. J'ai donné le nombre 15,60 d'après les indications de Sabine. (*Contributions*, etc., n° VII, p. 252.) On voit, par le Journal magnétique de l'Erebus (*Philos. Transactions for* 1843, 2e part., p. 169 et 172) que sur la glace, le 8 fév. 1841, par — 77° 47′ de latitude, 115° 2′ de longitude occidentale, des observations isolées ont donné jusqu'à 2,124. La valeur de l'intensité était 15,60 sur l'échelle absolue; cela suppose à priori pour Hobarton une intensité égale à 13,51 (voy. *Magnetic and meteorol. Observations made at Hobarton*, t. I, p. LXXV). L'intensité d'Hobarton a un peu augmenté récemment et s'est élevée à 13,56 (*ibid.*, t. II, p. 46). Dans l'*Admiralty Manual*, p. 17, je trouve le nombre qui représente le foyer méridional le plus fort changé en 15,8.

(23) [page 108]. Voy. Sabine, dans la traduction anglaise du *Cosmos*, t. I, p. 414.

(24) [page 109]. Voy. dans les *Proceedings of the British Association at Liverpool*, 1837, p. 72-74, l'intéressante carte intitulée *Map of the World, divided into hemispheres by a plane coinciding with the meridians of* 100 *and* 280 *E. of Greenwich, exhibiting the unequal distribution of the magnetic Intensity in the two hemispheres*, plate v. En prenant pour point de départ le méridien de Paris, ce plan passe par 97° 40′ de longitude orientale, et 82° 20′ de longitude occidentale. Erman a trouvé, dans la zone méridionale qui s'étend en latitude de — 24° 25′ à — 13° 18′, entre 37° 10′ et 35° 4′ de longitude ouest, l'intensité de la force magnétique presque sans interruption au-dessous de 0,76, c'est-à-dire très-faible.

(25) [page 109]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 210 et 508 (note 60).

(26) [page 109]. *Voyage in the southern Seas*, t. I, p. 22 et 27. Voy. aussi plus haut, p. 101 et 562 (note 5).

(27) [page 109]. Voy. le Journal maritime de Sulivan et Dunlop, dans les *Philosoph. Transactions for* 1840, 1re part., p. 143; toutefois ils n'ont pas trouvé, pour le minimum, plus de 0,800.

(28) [page 110]. On obtient le rapport 1 : 2,44, en comparant l'intensité absolue de Sainte-Hélène (6,4) avec le foyer le plus énergique de l'hémisphère méridional. Le rapport est de 1 à 2,47, si l'on compare Sainte-Hélène avec le maximum méridional, porté, comme il l'est dans l'*Admiralty Manual* (p. 17), à 15,8; il est de 1 à 2,91, si l'on compare la valeur relative des observations faites par Erman dans l'océan Atlantique (0,706) avec le foyer méridional (2,05). Enfin, on arrive au rapport de 1 à 2,95, en comparant la plus faible évaluation de ce voyageur éminent, prise d'une manière absolue (5,35), avec le plus fort des nombres représentant le foyer méridional (15,8). Le rapport moyen serait 1 : 2,69. Voy. sur l'intensité de Sainte-Hélène (valeur absolue 6,4; valeur relative

0,845), les dernières observations de Fitz-Roy (0,836), dans les *Philosoph. Transactions for* 1847, 1re part., p. 52, et *Proceedings of the Meeting at Liverpool*, p. 56.

(29) [page 110]. Voy. la traduction anglaise du *Cosmos*, t. I, p. 413, et *Contributions to the terrestrial Magnetism*, nº VII, p. 256.

(30) [page 112]. Sur l'illusion qui a pu, dans les houillères de Flenou, conduire à ce résultat que l'intensité horizontale croît de 0,001, à une profondeur de 83 pieds au-dessous du sol, voy. le *Journal de l'Institut*, avril 1855, p. 146. Dans une mine anglaise profonde, Henwood n'a trouvé aucune augmentation de l'intensité magnétique à 950 pieds au-dessous du niveau de la mer. Voy. Brewster, *Treatise on Magnetism*, p. 275.

(31) [page 112] *Cosmos*, t. I, p. 488 et 489; t. IV, p. 40.

(32) [page 113]. L'affaiblissement de l'intensité magnétique avec la hauteur résulte du rapprochement des observations que j'ai faites sur la Villa de Caracas (haut. au-dessus de la mer, 8105 pieds, intensité 1,188); avec celles que j'ai recueillies dans le port de la Guayra (haut. 0 p., intens. 1,262), et dans la ville de Caracas (haut. 2484 p., intens. 1,209); à Santa-Fé de Bogota (haut. 8190 p., intens. 1,147), et dans la chapelle de Nuestra Señora de Guadalupe, placée justement au-dessus de la ville, et suspendue comme un nid d'hirondelle au flanc escarpé d'un rocher (haut. 10128 p., intens. 1,127); sur le volcan de Puracé (haut. 13650 p., intens. 1,077), dans le petit village de Puracé (haut. 8136 p., intens. 1,087), et dans la ville de Popayan (haut. 5466 p., intens. 1,117); dans la ville de Quito (haut. 8952 p., intens. 1,037) et dans le village de San-Antonio de Lulumbamba, situé dans la crevasse d'un rocher voisin, immédiatement au-dessous de l'équateur géographique (haut. 7650 p., intens. 1,087). Sur les lieux les plus élevés où j'ai observé les os-

cillations de l'aiguille, sur le penchant de l'Antisana, volcan depuis longtemps éteint, en face du Chussulongo, j'ai obtenu, à 14 960 pieds de hauteur, des résultats en opposition avec ceux qui précèdent. Les observations durent être faites dans une vaste cavité, et l'accroissement considérable que je constatai dans l'intensité magnétique résultait certainement d'une attraction locale exercée par la masse trachytique qui nous entourait, ainsi que le prouvent les expériences que j'ai faites avec Gay-Lussac sur les bords du cratère du Vésuve et dans le cratère même. Je trouvai que l'intensité s'élevait dans le creux de l'Antisana à 1,188, tandis qu'elle était à peine de 1,068 sur les plateaux environnants, qui n'avaient pas la même hauteur. L'intensité s'est trouvée plus grande à l'hospice du Saint-Gothard (1,313) qu'à Airolo (1,309); mais elle y était plus faible qu'à Altorf (1,322). L'intensité d'Airolo, au contraire, surpassait celle de l'Urfern-lochs (1,307). Gay-Lussac et moi nous avons constaté encore qu'à l'hospice du mont Cenis l'intensité était de 1,344, tandis qu'elle n'était que de 1,323 à Lens-le-Bourg, au pied du mont Cenis, et de 1,336 à Turin. Ainsi que je l'ai remarqué plus haut, ce fut naturellement un volcan encore en activité, le Vésuve, qui nous offrit les contradictions les plus frappantes. En 1805, tandis que l'intensité magnétique était à Naples de 1,274, et à Portici de 1,288, à l'hermitage de San-Salvador elle atteignait 1,302 pour retomber à 1,193 dans le cratère du Vésuve, au-dessous de ce qu'elle était dans toute la contrée environnante. Le fer contenu dans la lave, le voisinage des pôles magnétiques formés dans des fragments détachés, et l'échauffement du sol qui est en général une cause d'affaiblissement, produisent les perturbations locales les plus opposées. Voy. Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 619-626, et *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. I, 1807, p. 17-19.

(33) [page 113]. Les observations de Kupffer ne se réfè-

rent pas à la cime de l'Elbrouz, mais à la différence de hauteur de deux stations : le port de Malya et la pente du Kharbis, fort éloignés l'un de l'autre malheureusement en longitude et en latitude ; cette différence est de 4500 pieds. Sur les doutes que Necker et Forbes ont élevés au sujet du résultat, voy. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, t. XIV, 1840, p. 23-25.

(34) [page 113]. Comp. Laugier et Mauvais, dans les *Comptes rendus*, t. XVI, 1843, p. 1175 ; Bravais, *Observations de l'intensité du Magnétisme terrestre en France, en Suisse et en Savoie*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XVIII, 1846, p. 214, et Kreil, *Einfluss der Alpen auf die Intensität*, dans les *Denkschriften der Wiener Akademie der Wissenschaften* (Mathemat. Naturwiss., t. I, 1850, p. 265, 279 et 290). Il est d'autant plus surprenant qu'un observateur fort exact, Quetelet, ait vu, en 1830, l'intensité horizontale augmenter avec la hauteur, de Genève (1,080) au col de Balme (1,091) et jusqu'à l'hospice du Saint-Bernard (1,096). Voy. aussi sir David Brewster, *Treatise on Magnetism*, p. 275.

(35) [page 114]. *Annales de Chimie*, t. LII, 1805, p. 86 et 87.

(36) [page 114]. Arago, *Notices scientifiques*, t. I, p. 519 (t. IV, des Œuvres) ; Forbes, dans les *Edinb. Transactions*, t. XIV, 1840, p. 22.

(37) [page 115]. Faraday, *Exper. Researches in Electricity*, 1851, p. 53 et 77, § 2881 et 2961.

(38) [page 115]. Christie, dans les *Philosoph. Transactions for* 1825, p. 49.

(39) [page 116]. Sabine, *on periodical laws of the larger magnetic disturbances*, dans les *Philosoph. Transactions for* 1851, 1re part., p. 126, et *on the annual variation of the magnetic Declination*, dans les *Philosoph. Transact. for* 1851, 2e part., p. 636.

(40) [page 116]. *Observations made at the magnetic and meteorologic Observatory at Toronto*, t. I, 1840-1842, p. LXII.

(41) [page 117]. Sabine, dans les *Magnet. and meteorol. Observat. at Hobarton*, t. I, p. LXVIII : « There is also a correspondence in the range and turning hours of the diurnal variation of the total force at Hobarton and at Toronto, although the progression is a double one at Toronto and a single one at Hobarton. ». Le maximum de l'intensité tombe à Hobarton entre 8 heures et 9 heures du matin, et c'est à 10 heures du matin qu'a lieu, à Toronto, le plus faible minimum ou minimum secondaire. Ainsi, en se référant au temps du lieu, l'accroissement et la diminution de l'intensité se produisent aux mêmes heures, non pas aux heures opposées, comme cela a lieu pour l'inclinaison et la déclinaison. Voy. sur les causes de ce phénomène, *Observat. at Hobarton*, p. LXIX. On peut aussi consulter Faraday, *Atmospheric Magnetism*, § 3027-3034.

(42) [page 117]. *Philosoph. Transact. for* 1850, 1re part., p. 215-217; *Magnetic observations at Hobarton*, t. II, 1852, p. XLVI. Voy. aussi le *Cosmos*, t. IV, p. 561 (note 98). Au cap de Bonne-Espérance, l'intensité (force totale) subit, dans les saisons opposées, des changements moins considérables que l'inclinaison. Voy. *Magnet. Observations at the cape of Good Hope*, t. I, 1851, p. LV.

(43) [page 118]. Voy. la partie magnétique de mon *Asie centrale*, t. III, p. 442.

(44) [page 118]. Sir John Barrow, *Arctic Voyages of Discovery*, 1846, p. 521 et 529.

(45) [page 119]. En Sibérie, on n'a point observé jusqu'ici d'inclinaison supérieure à 82° 16′. Cette observation a été faite par Middendorf sur la rivière Taimyr, par 74° 17′ de

latitude boréale et 93° 20′ de longitude Est de Paris. Voy. Middendorf, *Reise in Sibirien*, 1re part., p. 194.

(46) [page 119]. Sir James Ross, *Voyage to the Antarctic Regions*, t. I, p. 246 : « I had so long cherished the ambitious hope to plant the flag of my country on both the magnetic poles of our globe; but the obstacles which presented themselves being of so insurmountable a character, was some degree of consolation, as it left us no grounds for self-reproach ».

(47) [page 119]. *Cosmos*, t. I, p. 206-208 et 505.

(48) [page 119]. Sabine, *Pendulum Experiments*, 1825, p. 476.

(49) [page 120]. Sabine, dans les *Philosoph. Transactions for* 1840, 1re part., p. 137, 139 et 146. Je suis, pour le mouvement des nœuds africains, la carte jointe à ce Mémoire.

(50) [page 121]. Je donne ici, suivant mon habitude constante, les éléments de cette détermination, qui n'est pas sans importance : Micuipampa, petite ville péruvienne située au pied du Cerro de Gualgayoc, célèbre par la richesse de ses mines d'argent : latit. austr. 6° 44′ 25″, longit. 80° 53′ 3″; haut. au-dessus de la mer du Sud 11140 pieds, inclinaison magnétique 0°,42 vers le Nord (le cercle portait la division centésimale).— Caxamarca, située dans une plaine haute de 8784 pieds : lat. austr. 7° 8′ 38″, longit. 5h 23m 42s; inclin. 0°,15 Sud. – Montan, métairie (hacienda) située au milieu de la montagne et entourée de troupeaux de lamas : latit. austr. 6° 33′ 9″, longit. 5h 26m 51s; haut. 8042 pieds, inclin. 0°,70 Nord.— Tomependa, située dans la province Jaen de Bracamoros, au confluent de Chinchipe et de la rivière des Amazones : lat. austr. 5° 31′ 28″, longit. 80° 57′ 30″; haut. 1242 pieds, inclin. 3°, 55 Nord. — Truxillo, ville péruvienne sur les côtes de la mer du Sud : latit. austr. 8° 5′ 40″, longit. 81° 23′ 37″; inclin. 2°,15 Sud. Voy. Humboldt, *Recueil d'Observations astronomiques* (nivel-

lement barométrique et géodésique), t. I, p. 316, nos 242 et 244-254. Pour les principes sur lesquels reposent les déterminations astronomiques par les hauteurs d'étoiles et le chronomètre, voy. le même ouvrage, t. II, p. 379-391. C'est un singulier effet du hasard que le résultat de mes observations sur l'inclinaison, faites en 1802, par 7° 2′ de latitude australe, 81° 8′ de longitude occidentale, ne concorde pas trop mal avec les conjectures de Lemonnier, fondées sur des calculs théoriques. « Au nord de Lima, dit Lemonnier, l'équateur magnétique doit être trouvé, en 1776, par 7° 1/3, tout au plus par 6° 1/2 de latitude australe! » Voy. *Lois du magnétisme comparées aux Observations*, 2e part., p. 59.

(51) [page 121]. Saigey, *Mémoire sur l'Équateur magnétique*, d'après les observations du capitaine Duperrey, dans les *Annales maritimes et coloniales*, déc. 1833, t IV, p. 5. Dans ce Mémoire, Saigey remarque déjà que l'équateur magnétique n'est pas une courbe d'égale intensité, et qu'en différentes parties de cet équateur, l'intensité varie de 1 à 0,867.

(52) [page 121]. Cette portion de l'équateur magnétique a été déterminée par Erman pour 1830. En revenant du Kamtschatka en Europe, Erman a trouvé l'inclinaison presque nulle dans les lieux dont l'indication suit : latit. austr. 1° 30′, longit. occid. 134° 57′; latit. austr. 1° 52′, long. occid. 137° 30′; latit. bor. 1° 54′, longit. occid. 136° 5′; latit. austr. 2° 1′, longit. occid. 141° 28′. Voy. Erman, *Magnetische Beobachtungen*, 1841, p. 536.

(53) [page 121]. Wilkes, *United States Exploring Expedition*, t. IV, p. 263.

(54) [page 122]. Elliot, dans les *Philosoph. Transactions for* 1851, 1re part., p. 287-331.

(55) [page 122]. Duperrey, dans les *Comptes rendus*, t. XXII, 1846, p. 804-806.

(56) [page 124]. Arago m'écrivait de Metz, le 13 décembre 1827 : « J'ai parfaitement constaté, pendant les aurores boréales qui se sont montrées dernièrement à Paris, que l'apparition de ce phénomène est toujours accompagnée d'une variation dans la position des aiguilles horizontales et d'inclinaison, comme dans l'intensité. Les changements d'inclinaison ont été de 7′ à 8′. Par cela seul, l'aiguille horizontale, abstraction faite de tout changement d'intensité, devait osciller plus ou moins vite, suivant l'époque où se faisait l'observation, mais en corrigeant les résultats par le calcul des effets immédiats de l'inclinaison, il m'est encore resté une variation sensible d'intensité. En reprenant par une nouvelle méthode les observations diurnes d'inclinaison dont tu m'avais vu occupé pendant ton dernier séjour à Paris, j'ai trouvé non pas des moyennes, mais *chaque jour* une variation régulière : l'inclinaison est plus grande le matin à 9 heures que le soir à 6 heures. Tu sais que l'intensité *mesurée avec une aiguille horizontale* est au contraire à son *minimum* à la première époque, et qu'elle atteint son *maximum* entre 6 heures et 7 heures du soir. La variation totale étant fort petite, on pouvait supposer qu'elle n'était due qu'au seul changement d'inclinaison ; et, en effet, la plus grande portion de la *variation apparente d'intensité* dépend de l'altération diurne de la composante horizontale; mais, toute correction faite, il reste cependant une petite quantité, comme indice d'une *variation réelle d'intensité.* » Je lis encore dans une lettre que j'ai reçue d'Arago le 20 mars 1829, peu de temps avant mon départ pour la Sibérie : « Je ne suis pas étonné de ce que tu reconnais avec peine dans les mois d'hiver la variation diurne d'inclinaison dont je t'ai parlé; c'est dans les mois chauds seulement que cette variation est assez sensible pour être observée avec une loupe. Je persiste toujours à soutenir que les changements d'inclinaison ne suffisent pas pour expliquer le changement d'intensité déduit de l'observation d'une aiguille horizontale. Une augmentation de température, toutes les autres

circonstances restant les mêmes, ralentit les oscillations des aiguilles. Le soir, la température de mon aiguille horizontale est toujours supérieure à la température du matin ; donc l'aiguille devrait, par cette cause, faire le soir, en un temps donné, moins d'oscillations que le matin ; or, elle en fait plus que le changement d'inclinaison ne le comporte : donc du matin au soir, il y a une *augmentation réelle* d'intensité dans le magnétisme terrestre. » — Des observations postérieures, et beaucoup plus nombreuses, faites à Greenwich, à Berlin, à Pétersbourg, à Toronto (Canada) et à Hobarton (Van Diemen), ont confirmé l'opinion qu'exprimait Arago, en 1827, sur l'accroissement qui se produit le soir dans l'intensité horizontale. A Greenwich, le maximum principal de la force horizontale est à 6 heures, le minimum principal à 22 heures (10^h du matin) ou à 0^h (midi); à Schulzendorf, près de Berlin, le maximum est à 8^h, le minimum à 21^h (9^h du matin); à Pétersbourg, le maximum est à 8^h, le minimum à $23^h 20'$ ($11^h 20'$ du matin); à Toronto, le maximum est à 4^h, le minimum à 23^h, toujours en calculant le temps du lieu. Voy. Airy, *Magnetic Observations at Greenwich for* 1845, p. 13; *for* 1846, p. 102; *for* 1847, p. 241; Riess et Moser, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XIX, 1830, p. 175; Kupffer, *Compte rendu annuel de l'Observatoire central magnétique de Saint-Pétersbourg*, 1852, p. 28, et Sabine, *Magnetic Observations at Toronto,* t. I, 1840-1842, p. XLII. Au cap de Bonne-Espérance et à Sainte-Hélène, les heures des changements de période sont fort différentes et presque opposées; c'est le soir que la force horizontale est le plus faible. Voy. Sabine, *Magnetic Observations at the cape of Good Hope*, p. XL, *at St. Helena*, p. 40. Mais il n'en est pas ainsi dans tout l'hémisphère du Sud ; on s'aperçoit du changement en avançant vers l'Est. « The principal feature in the diurnal change of the horizontal force at Hobarton is the decrease of force in the forenoon and its subsequent increase in the afternoon. » (Sabine, *Magnetic Observat. at Hobarton,* t. I, p. LIV, t. II, p. XLIII).

(57) [page 125]. Sabine, *Observ. at Hobarton*, t. I, p. LXVII et LXIX.

(58) [page 128]. Intensité totale à Hobarton : maximum 5h 1/2, minimum 20h 1/2 (8h 1/2 du matin); à Toronto, maximum principal 6h, minimum principal 14h (2h du matin), second maximum 20h (8h du matin), second minimum 22h (10h du matin). Comparez Sabine, *Observ. at Toronto*, t. I, p. LXI et LXII, et *Observ. at Hobarton*, t. I, p. LXVIII.

(59) [page 129]. Sabine, *Report on the isoclinal and isodynamic lines in the British Islands*, 1839, p. 61-63.

(60) [page 130]. Voy. Humboldt, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XV, p. 319-336, t. XIX, p. 357-391, et dans le *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 616 et 625.

(61) [page 130]. Hansteen, *über jährliche Veränderung der Inclination*, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXI, p. 403-429. Voy. aussi, sur l'effet produit par le mouvement des nœuds de l'équateur magnétique, sir David Brewster, *Treatise on Magnetism*, p. 247. Depuis que, grâce à l'établissement des stations magnétiques, un champ presque infini s'est ouvert aux observations spéciales, on découvre chaque jour, en cherchant la loi de ces phénomènes, des complications nouvelles. On voit, par exemple, à mesure que les années se suivent, l'inclinaison croître, au lieu de diminuer, en partant du changement de période du maximum, tandis qu'elle suit sa diminution progressive annuelle en partant du minimum. A Greenwich, par exemple, l'inclinaison magnétique a diminué à l'heure du maximum (21h) en 1844 et 1845, elle a augmenté à la même heure dans les années 1845-1846, tout en continuant à diminuer de 1844 à 1846 à l'heure du changement de période du minimum (3h). Voy. Airy, *Magnetic Observations at Greenwich*, 1846, p. 113.

(62) [page 130]. Humboldt, *Cosmos*, t. IV, p. 85.

(63) [page 131]. *Philos. Transact. for* 1841, 1re part., p. 35.

(64) [page 131]. Comp. Sawelieff dans le *Bulletin physico-mathématique de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg*, t. X, nº 219, avec Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 440.

(65) [page 131]. Sabine, *Magnetic Observations at the cape of Good Hope*, t. I, p. LXV. Si l'on peut se fier aux observations faites en 1751 par Lacaille qui, à la vérité, eut soin d'intervertir chaque fois les pôles, mais qui avait une aiguille trop peu mobile, l'inclinaison aurait augmenté au Cap de 3°,08 en 89 années!

(66) [page 132]. Arago, *Rapports sur les voyages scientifiques*, p. 281-289 (t. IX des Œuvres).

(67) [page 133]. Je crois devoir répéter encore que toutes les observations d'inclinaison, recueillies en Europe et citées dans le passage du texte qui renvoie à cette note, se rapportent à la division du cercle en 360 parties, et que les observations que j'ai faites au mois de juin 1804, dans le nouveau continent, sont seules calculées d'après la division centésimale. Voy. mon *Voyage aux régions équinoxiales*, t. III, p. 615-623.

(68) [page 134]. Bravais, *sur l'Intensité du Magnétisme terrestre en France, en Suisse et en Savoie*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XVIII, 1846, p. 225.

(69) [page 134]. Humboldt, *Voyage aux Régions équinoxiales*, t. I, p. 116, 277 et 288.

(70) [page 135]. Le puits du Khurprinz est situé près de Freiberg, dans l'Erzgebirge saxon. Le point souterrain était à la septième galerie d'écoulement du filon Ludwig, à 80 *læchter* à l'est du puits d'extraction, 40 *læchter* à l'ouest de la fosse d'epuisement, et à 133 *læchter* 1/2 de profondeur. Les observations faites avec Freiesleben et Reich à 2 heures 1/2 du soir, la température du puits étant à 15°,6

du thermomètre centigrade, ont donné les résultats suivants : inclinaison de l'aiguille A, 67° 37',4; inclin. de l'aiguille B, 67° 32',7; moyenne des deux aiguilles à l'intérieur du puits, 67° 35',05. A l'air libre, sur un point de la surface du sol placé, ainsi qu'on en pouvait juger d'après le plan dressé par l'ingénieur de la mine, directement au-dessus de celui qui avait servi aux expériences souterraines, l'aiguille A marquait, à onze heures du matin, 67°33',87, l'aiguille B 67°32',12; moyenne des deux aiguilles, dans la station supérieure, 67°32',99, la température de l'air étant à 15°,8 centigr.; différence des deux moyennes, 2',06. L'aiguille A, qui était la plus forte et m'inspirait le plus de confiance, donnait une différence de 3',53, d'où l'on peut conclure que l'influence de la profondeur sur l'aiguille B, considérée isolément, était presque insensible. Voy. Humboldt, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XV, p. 326. J'ai décrit en détail et éclairci par des exemples, dans l'*Asie centrale* (t. III, p. 465-467), la méthode que j'ai constamment suivie, et qui consiste à lire sur le cercle azimuthal, afin de trouver le méridien magnétique par les inclinaisons correspondantes de l'aiguille dans deux plans perpendiculaires, et à lire l'inclinaison elle-même sur le cercle vertical, en retournant les aiguilles sur les pivots, et en observant les deux extrémités avant et après l'interversion des pôles. J'ai observé seize fois l'état de chacune des deux aiguilles, pour déduire la moyenne de ces observations. Si l'on veut déterminer seulement avec vraisemblance d'aussi faibles quantités, il ne faut pas craindre d'entrer dans les détails les plus minutieux.

(71) [page 135]. *Cosmos*, t. I, p. 486.

(72) [page 135]. Humboldt, *Voyage aux Régions équinoxiales*, t. I, p. 515-517.

(73) [page 136]. Mendoza, *Tratado de Navegacion*, t. II, p. 72.

(74) [page 137]. Erman, *Reise um die Erde*, t. II, p. 180.

(75) [page 137]. *Cosmos,* t. IV, p. 60. Petrus Peregrini écrivait à l'un de ses amis que, dans l'année 1269, l'aiguille aimantée marquait, en Italie, 5° de variation orientale.

(76) [page 138]. Humboldt, *Examen critique de l'histoire et la géographie du Nouveau Continent,* t. III, p. 29, 36, 38 et 44-51. Bien qu'au rapport d'Herrera (déc. I, p. 23), Colomb ait remarqué que la variation magnétique n'était pas la même le jour et la nuit, cela n'autorise pas à conclure que ce grand navigateur eût connaissance des variations horaires de la déclinaison. Son Journal de bord, publié dans toute sa sincérité par Navarreta, nous apprend, à la date du 17 et du 30 septembre 1492, qu'il rapportait tout à un mouvement inégal de l'étoile polaire et du Bouvier ou Gardien de l'Ourse (Guarda). Voy. l'*Examen critique,* t. III, p. 56-59.

(77) [page 138]. *Cosmos,* t. IV, p. 71 et 556 (note 83). Les plus anciennes observations faites à Londres, qui aient été imprimées, sont celles de Graham, publiées dans les *Philosoph. Transactions for* 1724 (1725, t. XXXIII, p. 96-107), sous ce titre : *an account of Observations made of the horizontal needle at London,* 1722-1723, by Mr George Graham. Le changement de la déclinaison ne se fonde, y est-il dit, « neither upon heat nor cold, dry or moist air. The variation is greatest between 12 and 4 in the afternoon, and the least at 6 or 7 in the evening. » Les heures indiquées ici ne sont pas celles où ont réellement lieu les changements de période.

(78) [139]. Ce fait est attesté par de nombreuses observations; il l'est, pour l'observatoire du cloître grec à Peking, par les expériences de Georges Fuss et de Kowanko; pour Nertschinsk par celle d'Anikin; pour Toronto, dans le Canada, par celles de Buchanan Riddell. Dans toutes ces contrées, la déclinaison est occidentale. Nous possédons des observations pour les lieux suivants, où la déclinaison est orientale : à Casan, celles de Kupffer et de Simonoff; à Sitka, sur la côte

Nord-Ouest de l'Amérique, celles de Wrangel, bien que troublées par de nombreuses apparitions de lumière polaire; à Washington, celles de Gillis; à Marmato, dans l'Amérique du Sud, celles de Boussingault; à Payta, sur la côte péruvienne de la mer du Sud, celles de Duperrey. Je rappelle que la déclinaison moyenne était : à Peking (décembre 1831), 2° 15′ 42″ Ouest (Poggendorff's *Annalen*, t. XXXIV, p. 54); à Nerstchinsk (septembre 1832), 4° 7′,44″ Ouest (Poggend. *Annalen, ibid.* p. 61); à Toronto (novembre 1847), 1° 33′ Ouest (comp. *Observations at the magnetical and meteorological Observatory at Toronto*, t. I, p. XI, et Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1851, 2ᵉ part., p. 636); à Kasan (août 1828), 2° 21′ Est (Kupffer et Simonoff; voy. aussi Erman, *Reise um die Erde*, t. II, p. 532); à Sitka (novembre 1829), 28° 16′ Est (Erman, *ibid.*, p. 546); à Marmato (août 1828), 6° 33′ Est (Humboldt, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XV, p. 331); à Payta (août 1823), 8° 56′ Est (Duperrey, dans la *Connaissance des tems* pour 1828, p. 252.) — A Tiflis, la marche de l'aiguille vers l'Ouest s'opère de 19^h (7^h du matin) à 2^h. Voy. Parrot, *Reise zum Ararat*, 1834, 2ᵉ part., p. 58.

(79) [page 140]. Voy. dans Hansteen, *Magnetismus der Erde* (1819, p. 459), des extraits de la lettre que j'écrivais de Rome à Karsten, le 22 juin 1805, sur quatre mouvements de l'aiguille aimantée, analogues aux périodes du baromètre, et qui sont comme des flux et reflux magnétiques. Au sujet des variations nocturnes de la déclinaison, négligées pendant si longtemps, on peut consulter Faraday, *on the night Episode*, § 3012-3024.

(80) [page 140]. Airy, *Magnet. and meteorol. Observations made at Greenwich*, 1845 (Results), p. 6; 1846, p. 94; 1847, p. 236. Jusqu'à quel point les premières données sur les heures des changements de périodes du jour et de la nuit s'accordent-elles avec les résultats obtenus quatre ans plus tard dans les

riches observatoires magnétiques de Greenwich et du Canada, c'est ce qui résulte de la discussion à laquelle s'est livré mon vieil ami Encke, le savant directeur de l'observatoire de Berlin, sur les observations correspondantes, recueillies à Berlin et à Breslau. Il écrivait le 11 octobre 1836 : « En ce qui concerne le maximum de nuit ou l'inflexion de la courbe qui marque les variations horaires de la déclinaison, je ne crois pas qu'il puisse en général y avoir de doute, ainsi que Dove l'a conclu, en 1830, des observations faites à Freiberg (Poggendorff's *Annalen*, t. XIX, p. 373). Les représentations graphiques sont, pour l'intelligence de ce phénomène, de beaucoup préférables aux tableaux numériques. Dans les tracés, les grandes irrégularités sautent aux yeux tout d'abord, et permettent de tirer une ligne moyenne, tandis que, dans les nombres, l'œil se trompe souvent et est exposé à prendre une irrégularité très-frappante pour un maximum ou un minimum véritable. Les périodes paraissent fixées ainsi qu'il suit :

La plus grande déclinaison orientale.	20h.	1er maximum Est.
La plus grande déclinaison occidentale.	1h.	1er minimum Est.
Second maximum oriental ou petit maximum.	10h.	2e maximum Est.
Second minimum occidental ou petit minimum.	16h.	2e minimum Est.

Le second minimum, ou l'élongation occidentale nocturne, tombe proprement entre 15 et 17 heures, tantôt plus près de 15, tantôt plus près de 17. Il est à peine utile de rappeler que les déclinaisons que Encke et moi nous nommons des minima vers l'Est (1^h et 16^h) sont, pour les stations anglaises et américaines, fondées en 1840, des maxima vers l'Ouest, et que, réciproquement, nos maxima vers l'Est (20^h et 10^h), se transforment en minima vers l'Ouest. Pour représenter, par conséquent, de la manière la plus générale et la plus régulière, la marche de l'aiguille aimantée dans l'hémisphère méridional, je choisis les dénominations adoptées par Sabine, en commençant par l'époque de la plus grande élongation vers l'Ouest, calculée d'après le temps moyen de chaque lieu.

	Freiberg 1829	Breslau 1836	Greenwich 1846-47	Makerstown 1842-43	Toronto 1845-47	Washington 1840-42
Maximum.	1^h	1^h	2^h	0^h40^m	1^h	2^h
Minimum.	13	10	12	10	10	10
Maximum.	16	16	16	14 15^m	14	14
Minimum.	20	20	20	19 15^m	20	20

En considérant chaque saison séparément, on a constaté à Greenwich quelques particularités remarquables. En 1847, il n'y eut, en hiver, qu'un seul maximum, à 2^h, et un seul minimum, à 12^h (minuit) ; en été, la progression fut double, mais le second minimum tomba à 14^h, au lieu de 16^h, (p. 236). La plus grande élongation vers l'Ouest, c'est-à-dire le premier maximum, resta en été, comme en hiver, fixée à 2^h. La plus petite, c'est-à-dire le second minimum, fut, dans l'été de 1846, à 20^h, comme d'ordinaire, et à 12^h dans l'hiver (p. 94). Durant l'hiver de cette même année 1846, l'augmentation moyenne de l'élongation occidentale se produisit sans interruption depuis 12^h jusqu'à 2^h. (Voy. aussi pour l'année 1845, p. 5). A Makerstown, situé en Écosse, dans le comté de Roxburgh, est l'observatoire qui témoigne du zèle de sir Thomas Brisbane pour les intérêts de la science (voy. John Allan Broun, *Observations in Magnetism and Meteorology made at Makerstown in* 1843, p. 221-227). Au sujet des observations horaires faites jour et nuit à Saint-Pétersbourg, on peut consulter Kupffer, *Compte rendu météorologique et magnétique à M. de Brock en* 1851, p. 17. Sabine, dans le tracé très-ingénieusement combiné, par lequel il a représenté la courbe de la déclinaison horaire à Toronto (*Philos. Transact. for* 1851, 2ᵉ part., plate 27), indique un repos fort remarquable de deux heures, de 9^h à 11^h, précédant le petit mouvement vers l'Est qui se produit la nuit à partir de 11^h jusqu'à 15^h. On lit dans Sabine : « We fin alternate progression and retrogression at Toronto twice in the 24 hours. In 2 of the 8 quarters (1841 and 1842) the inferior degree of regularity during the night occasions the

occurence of *a triple maximum and minimum;* in the remaining quarters the turning hours are the same as those of the mean of the 2 years » (*Observations made at the magnet. and meteorol. Observatory at Toronto in Canada*, t. I, p. XIV et XXIV, 183-191 et 228, *and Unusual magnet. Disturbances*, 1re part., p. VI). Au sujet des observations fort complètes faites à Washington, voy. Gilliss, *Magnet. and meteorol. Observations made at Washington*, p. 325 (general Law), et comp. Bache, *Observat. at the magnet. and meteorol. Observatory at the Girard College* (Philadelphia), *made in the years* 1840 to 1845 (trois volumes contenant 3212 pages), t. I, p. 709; t. II, p. 1285; t. III, p. 2167 et 2702. Malgré la proximité de Washington et de Philadelphie, puisqu'il n'y a d'intervalle entre ces deux villes que 1° 4′ en latitude, 0° 7′ 33″ en longitude, je trouve de la différence entre les petites périodes du second maximum occidental et du second minimum occidental : le maximum avance à Philadelphie de 1^h 1/2, le minimum de 2^h 1/4.

(81) [page 141]. Gilliss, dans ses *Magnet. Observations of Washington* (p. 328), cite des exemples de ces faibles avances de temps. Dans le nord de l'Écosse, à Makerstown, par 55° 35′ de latitude, on a constaté aussi des oscillations dans le petit minimum qui, durant les trois premiers mois de l'année et les quatre derniers, tombe à 21^h, et, durant les cinq autres mois, du mois d'avril au mois d'août, avance de deux heures. C'est le contraire de ce qui se passe à Greenwich et à Berlin (voy. Allan Broun, *Observat. made at Makerstown*, p. 225). Bien que le minimum tombe, le matin, presque en même temps que le minimum de la température, et que le maximum coïncide aussi à peu près avec le maximum de chaleur, le second maximum et le second minimum, qui tous deux se produisent pendant la nuit, démentent la part qu'on pourrait attribuer à la chaleur dans les changements réguliers de la déclinaison horaire. « Il y a, dit Reslhuber (Poggendorff's *An-*

nalen, t. LXXXV, 1852, p. 416), deux maxima et deux minima de la déclinaison en 24 heures, et il n'y a qu'un seul maximum et un seul minimum de température. » Sur la marche normale de l'aiguille aimantée dans l'Allemagne du Nord, on peut lire la description extrêmement fidèle qu'en a donnée Rose (Poggendorff's *Annalen*, t. XIX, p. 364-374).

(82) [page 142]. *Voyage en Islande et au Groënland, exécuté en* 1835 *et* 1836 *sur la corvette la Recherche* (*Physique*), 1838, p. 214-225 et 358-367.

(83) [page 142]. Sabine, *Account of the Pendulum Experiments,* 1825, p. 500.

(84) [page 143]. Barlow, *Bericht über die Beobachtungen von Port-Bowen,* dans *Edinb. new Philos. Journal,* t. II, 1827, p. 347.

(85) [page 143]. Le professeur Orlebar d'Oxford, autrefois Superintendant de l'observatoire magnétique construit dans l'île de Colaba, aux frais de la Compagnie des Indes, a cherché à débrouiller les lois si complexes des changements de la déclinaison dans les périodes secondaires. Voy. *Observations made at the magnet. and meteorol. Observatory at Bombay in* 1845 (Results, p. 2-7). Je suis très-frappé de voir la marche de l'aiguille, pendant la première période d'avril à octobre (minim. occid. 19^h 1/2, maxim. 0^h 1/2, minim. 5^h 1/2, maxim. 7^h), s'accorder si exactement avec ce que l'on a observé dans l'Europe centrale. Le mois d'octobre lui-même est une période de transition, car, en novembre et en décembre, la quotité de la variation diurne atteint à peine 2 minutes. Bien que Bombay soit encore à 8° de distance de l'équateur magnétique, il est déjà difficile d'y reconnaître des changements de période réguliers. Toutes les fois que, dans la nature, des causes diverses de perturbation agissent sur un phénomène de mouvement, pendant des périodes dont

la durée nous est inconnue, l'élément régulier reste longtemps perdu au milieu de ces actions contraires, ou qui, si elles concourent au même but, ne peuvent le faire uniformément.

(86) [page 144]. Voyez les preuves de ce fait dans mon *Examen critique de l'histoire de la Géographie du Nouveau Continent*, t. III, p. 34-37. La plus ancienne indication de déclinaison magnétique, due à Keutsoungchy, écrivain du commencement du XIIe siècle, était Est 5/6 Sud. Voy. la lettre de Klaproth *sur l'invention de la boussole*, p. 68.

(87) [page 144]. Sur les antiques relations de commerce des Chinois avec Java, attestées par Fahian, dans le *Fo-koue-ki*, voy. Guillaume de Humboldt, *über die Kawi-Sprache*, t. I, p. 16.

(88) [page 144]. *Philos. Transactions for* 1795, p. 340-349; *for* 1798, p. 397. J'ai quelque doute sur le résultat que Macdonald a extrait lui-même de ses observations au fort Marlborough, situé dans l'île de Sumatra, au-dessus de la ville de Bencoolen, par 3° 47′ de latitude australe, d'après lequel l'élongation orientale croîtrait depuis 19^h jusqu'à 5^h. A partir de midi, les observations n'ont été faites avec suite qu'à 3, à 4 ou à 5 heures, et des observations isolées, recueillies en dehors des heures régulières, rendent vraisemblable que, dans l'île de Sumatra, le passage de l'élongation orientale à l'élongation occidentale a lieu à 2^h, exactement comme à Hobarton. Macdonald a réuni une série d'observations sur la déclinaison embrassant vingt-trois mois, de juin 1794 à juin 1796, et j'y vois qu'en toutes saisons le mouvement de l'aiguille de l'Ouest à l'Est se prolonge, et accroît, depuis 19^h 1/2 (7^h 1/2 du matin) jusqu'à midi, la déclinaison orientale. Rien ne rappelle ici le type de l'hémisphère septentrional que représente Toronto, et qui règne à Singapore du mois de mai au mois de septembre; ce-

pendant le fort Marlborough est situé presque sous le même méridien que Singapore, et n'en est séparé que par 5°4′ de latitude; mais l'équateur géographique passe dans l'intervalle.

(89) [page 145]. Sabine, *Magnet. Observations made at Hobarton,* t. I, 1841 et 1842, p. xxxv, 2 et 148; t. II, 1843-1845, p. III-xxxv et 172-344; et *Observat. made at St-Helena.* Voyez aussi le même savant, dans les *Philos. Transactions for* 1847, 1re part., p. 55, pl. IV; *for* 1851, 2e part., p. 636, pl. XXVII.

(90) [page 146]. *Cosmos,* t. I, p. 205 et 206.

(91) [page 148]. Sabine, *Observations made at the magnet. and meteor. Observatory at St-Helena in* 1840-1845, t. I, p. 30, et dans les *Philos. Transactions for* 1847, 1re part., p. 51-56, pl. III. Pour bien se représenter, dans ce qu'elle a de saisissant, l'opposition régulière qui existe entre deux parties de l'année : de mai à septembre, type des latitudes moyennes de l'hémisphère septentrional; d'octobre à février, type des latitudes moyennes de l'hémisphère méridional, il faut, en considérant la courbe de la déclinaison horaire, comparer entre elles les inflexions qui répondent aux trois parties du jour, de 14h à 22h, de 22h à 4h, et de 4h à 14h. Chaque courbure placée au-dessus de la ligne qui exprime la déclinaison moyenne fait pendant à une autre courbure presque égale placée au-dessous (voy. *ibid.*, t. I, pl. IV, les courbes AA et BB). Même dans la période de nuit, l'opposition est sensible; mais ce qui est plus remarquable encore, c'est que, dans les mêmes mois où Sainte-Hélène et le cap de Bonne-Espérance offrent le type de l'hémisphère septentrional, les changements de période avancent sous ces latitudes si méridionales comme à Toronto dans le Canada. Voy. Sabine, *Observations at Hobarton,* t. I, p. xxxvi.

(92) [page 148]. *Philos. Transactions for* 1847, 1re part.,

p. 52 et 57; Sabine, *Observations made at the magnet. and meteorol. Observatory at the cape of Good Hope*, 1841-1846, t. I, p. xII-xxIII, pl. III. Faraday a exposé ses vues ingénieuses sur les causes de ces phénomènes subordonnés à la succession des saisons, dans son livre intitulé *Experiments on atmospheric Magnetism*, § 3027-3068. Voy. aussi sur les analogies avec Pétersbourg, le § 3017. Il paraît qu'un observateur fort assidu, M. d'Abbadie, a trouvé sur les côtes méridionales de la mer Rouge le type rare, variable suivant les saisons, du cap de Bonne-Espérance, de Sainte-Hélène et de Singapore (voy. Airy, *On the present state of the science of terrestrial Magnetism*, 1850, p. 2). Suivant la remarque de Sabine dans les *Proceedings of the royal Society* (1849, p. 821), «la situation actuelle des quatre foyers de la plus grande intensité magnétique a vraisemblablement pour conséquence que la courbe importante qui représente la plus faible intensité relative (il n'est pas question de l'intensité absolue) court dans la partie méridionale de l'océan Atlantique, du voisinage de Sainte-Hélène à l'extrémité méridionale de l'Afrique. La situation astronomique et géographique de la pointe africaine, où le soleil se tient toute l'année au nord du zénith, fournit un argument décisif contre l'explication proposée par La Rive (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXV, 1849, p. 310), au sujet du phénomène de Sainte-Hélène, qui peut paraître anomal au premier abord, mais n'en est pas moins fort régulier et se reproduit sur d'autres points.»

(93) [page 149]. Halley, *Account of the late surprising appearance of Lights in the Air*, dans les *Philos. Transactions*, t. XXIX, 1714-1716, n° 347, p. 422-428. L'explication de la lumière boréale proposée par Halley a malheureusement trop de rapports avec l'hypothèse de fantaisie qu'il avait exposée vingt-cinq ans plus tôt (voy. *Philos. Transactions for* 1693, t. XVII, n° 195, p. 563). D'après cette hypothèse, à l'intérieur du globe terrestre, entre l'enveloppe extérieure sur la-

quelle nous habitons et le noyau solide de la Terre également habité par des hommes, il se trouve un fluide lumineux, pour la commodité des relations auxquelles donne lieu cette vie souterraine. « In order to make that inner globe capable of being inhabited, there might not improbably be contained some luminous medium between the balls, so as to make a perpetual Day below. » Comme dans le voisinage des pôles de rotation, l'écorce terrestre doit être, en raison de l'aplatissement, beaucoup moins épaisse que sous l'équateur, il est naturel qu'à certaines époques, surtout aux équinoxes, le fluide lumineux intérieur, autrement dit le fluide magnétique, se cherche une voie dans la région polaire, à travers les crevasses des roches; c'est l'écoulement de ce fluide qui, suivant Halley, produit le phénomène des aurores boréales. Les expériences faites avec de la limaille de fer, semée sur un aimant de forme sphéroïdale, indiquent la position des rayons colorés et lumineux de la lumière polaire. « De même que chacun voit un arc-en-ciel qui n'est visible que pour lui, de même la couronne est placée à un point différent pour chaque observateur » (*ibid.*, p. 424). Sur le rêve géognostique d'un observateur ingénieux, qui, dans ses travaux magnétiques et astronomiques, est allé d'ailleurs si au fond des choses, voy. le *Cosmos*, t. I, p. 193 et 496 (note 36).

(94) [page 151]. Le professeur Oltmanns et moi, nous avons été plusieurs fois soulagés de la fatigue que nous causaient des observations prolongées pendant plusieurs nuits consécutives, par des observateurs fort attentifs : MM. l'architecte Mæmpel, le géographe Friesen, un mécanicien fort instruit, Nathan Mendelsohn, et notre grand géognoste Léopold de Buch. Dans ce livre, comme dans mes précédents écrits, je suis heureux de citer tous ceux qui ont bien voulu partager mes travaux.

(95) [page 152]. Le mois de septembre 1806, a été singu-

lièrement riche en grands orages magnétiques. J'extrais de mon Journal les notes suivantes :

$\frac{21}{22}$ septembre 1806 de $16^h\,36^m$ à $17^h\,43^m$

$\frac{22}{23}$ — de $16^h\,40^m$ à $19^h\ 2^m$

$\frac{23}{24}$ — de $15^h\,33^m$ à $18^h\,27^m$

$\frac{24}{25}$ — de $15^h\ 4^m$ à $18^h\ 2^m$

$\frac{25}{26}$ — de $14^h\,22^m$ à $16^h\,30^m$

$\frac{26}{27}$ — de $14^h\,12^m$ à $16^h\ 3^m$

$\frac{27}{28}$ — de $13^h\,55^m$ à $17^h\,27^m$

$\frac{28}{29}$ — de $12^h\ 3^m$ à $13^h\,22^m$

Ce dernier orage fut moins violent que les autres, et la nuit s'acheva dans un repos profond.

Dans la nuit du 29 au 30 commença aussi un petit orage qui dura depuis $10^h\,20^m$ jusqu'à $11^h\,32^m$, et auquel succéda un repos complet jusqu'à $17^h\,6^m$.

Enfin, dans la nuit du 30 septembre au 1er octobre, éclata, à $14^h\,46^m$, un orage violent, mais court. Le calme se rétablit ensuite, mais à $16^h\,30^m$ éclata un second orage, non moins fort que le premier.

Le violent orage du 25 au 26 septembre avait été précédé d'un autre, qui avait duré de $7^h\,8^m$ à $9^h\,11^m$, avec plus de force encore. Dans les mois suivants, les grandes perturbations magnétiques furent beaucoup moins nombreuses, et peuvent être comparées avec celles de l'équinoxe d'automne. J'appelle un *grand orage* celui dans lequel l'aiguille accomplit

des oscillations de 20 à 38 minutes, ou dépasse toutes les divisions du segment, ou enfin rend l'observation impossible. Dans les *petits orages*, les oscillations de l'aiguille sont irrégulières et varient de 5 à 8 minutes.

(96) [page 153]. En dix années d'observations assidues, Arago n'a pu voir à Paris d'oscillations n'entraînant pas de changement dans la déclinaison. Il écrivait en 1829 : « J'ai communiqué à l'Académie les résultats de nos observations simultanées. J'ai été surpris des oscillations qu'éprouve parfois l'aiguille de déclinaison à Berlin dans les observations de 1806, 1807, 1828 et 1829, lors même que la déclinaison moyenne n'est pas altérée. A Paris, nous ne trouvons jamais rien de semblable. Si l'aiguille éprouve de fortes oscillations, c'est seulement en temps d'aurore boréale et lorsque la direction absolue a été notablement dérangée ; et encore le plus souvent les dérangements dans la direction ne sont-ils pas accompagnés de mouvement oscillatoire. » Les phénomènes constatés en 1840 et 1841, à Toronto, par 43° 39′ de latitude boréale, sont tout à fait opposés à la description d'Arago, et s'accordent parfaitement avec les expériences de Berlin. Les observateurs de Toronto étaient si attentifs à toute espèce de mouvement qu'ils indiquent les vibrations fortes ou faibles, les chocs et toute espèce de perturbations d'après des subdivisions de l'échelle, et ne se départent jamais de cette nomenclature. Voy. Sabine, *Days of unusual magnet. Disturbances*, t. I, 1re part., p. 46. Dans les deux années 1840 et 1841, on cite, au Canada, des groupes de jours consécutifs formant un total de 146, dans lesquels des oscillations très-fortes se sont produites (with strong shocks), sans altération sensible de la déclinaison horaire (*ibid.*, p. 47, 54, 74, 88, 95 et 101). Ces groupes sont marqués de la rubrique suivante : « Times of observations at Toronto, at which the magnetometers were disturbed, but the mean readings were not materially changed. » Presque toujours aussi, durant ces fréquentes apparitions de lumière polaire, les changements de dé-

clinaison étaient accompagnés à Toronto de fortes oscillations, qui souvent même rendaient impossible de lire le résultat. Ces expériences, qu'on ne saurait assez engager à renouveler, nous apprennent que si les changements de déclinaison qui troublent momentanément l'aiguille aimantée ont souvent pour conséquence des changements considérables et définitifs dans la variation (voy. Younghusband, *Unusual Disturbances*, 2e part., p. x), en somme, cependant, l'amplitude des oscillations est loin de répondre à la valeur du changement produit dans la déclinaison; que les oscillations peuvent être considérables, avec des changements de déclinaison insensibles, et que la marche de l'aiguille à l'Est ou à l'Ouest peut être rapide et très-marquée, sans mouvement oscillatoire; enfin que ces effets de l'activité magnétique peuvent prendre, suivant les lieux, un caractère distinct et spécial.

(97) [page 153].Sabine, *Unusual Disturbances*, t. I, 1re part., p. 69 et 101.

(98) [page 154]. Ces expériences eurent lieu à la fin de septembre 1806. Le résultat en fut publié dans les *Annalen* de Poggendorff (t. XV, avril 1829, p. 330). On y lit ces mots: « Mes anciennes observations horaires, faites conjointement avec Oltmanns, eurent cet avantage, qu'à l'époque où elles avaient lieu, en 1806 et 1807, on n'en avait point encore fait de semblables ni en France, ni en Angleterre. Elles donnaient les maxima et les minima nocturnes; elles faisaient connaître ces singuliers orages magnétiques qui, par la force des oscillations qu'ils impriment à l'aiguille, rendent toute observation impossible, et se renouvellent à la même heure plusieurs nuits de suite, sans qu'on ait pu reconnaître jusqu'ici à quel concours de circonstances météorologiques ces phénomènes doivent être attribués. » Ce n'est donc pas en 1839 que l'on a constaté pour la première fois une certaine périodicité dans les grandes perturbations magnétiques. Voy. *Report of the*

fifteenth Meeting of the British Association at Cambridge, 1845, 2e part., p. 12.

(99) [page 154]. Kupffer, *Voyage au mont Elbruz dans le Caucase*, 1829, p. 108 : « Les déviations irrégulières se répètent souvent à la même heure et pendant plusieurs jours consécutifs. »

(100) [page 155]. Voy. Sabine, *Unusual Disturbances*, t. I, 1re part., p. XXI, et Younghusband, *on periodical Laws in the larger magnetic Disturbances*, dans les *Philos. Transactions, for* 1853, 1re part., p. 173.

(1) [page 155]. Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1851, 1re part., p. 125-127 : « The *diurnal variation* observed is in fact constituted by two variations superposed upon each other, having different laws and bearing different proportions to each other in differents parts of the globe. At tropical stations the influence of what have been hitherto called the irregular disturbances (magnetic storms) is comparatively feeble; but it is otherwise at stations situated as are Toronto (Canada) and Hobarton (Van Diemen Island) where their influence is both really and proportionally greater and amounts to a clearly recognizable part of the whole diurnal variation. » Il se passe ici, dans l'influence complexe, produite par des causes de mouvements simultanées, mais différentes, la même chose qu'a si bien éclaircie Poisson dans sa théorie des ondes (*Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, 1817, p. 293) : « Plusieurs sortes d'ondes peuvent se croiser. Dans l'eau comme dans l'air, les petits mouvements se *superposent*. » Voy. aussi les conjectures de Lamont, sur l'effet complexe d'une onde polaire et d'une onde équatoriale, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. LXXXIV, p. 583.

(2) [page 156]. Voy. plus haut, *Cosmos*, t. IV, p. 152, et 587 (note 92).

(3) [page 156]. Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1852, 2e part., p. 110; Younghusband, *ibid.*, p. 169.

(4) [page 157]. D'après Lamont et Reslhuber, la période magnétique est de 10 années 1/3, de telle façon que la moyenne du mouvement diurne augmente pendant cinq années, et décroît pendant cinq années, avec cette circonstance que l'amplitude de la déclinaison est toujours presque double en été de ce qu'elle est en hiver (voy. Lamont, *Jahresbericht der Sternwarte zu München für* 1852, p. 54-60). Le directeur de l'Observatoire de Berne, M. Rodolphe Wolf, a trouvé, à l'aide d'un travail beaucoup plus complet, que la période de coïncidence de la déclinaison magnétique et de la fréquence des taches solaires peut être évaluée à 11 années 1/10.

(5) [page 157]. Voy. le *Cosmos*, t. IV, p. 88, 89, 92, 95, 96 et 558 (note 90).

(6) [page 158]. Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1852, 1re part., p. 103 et 121. — Voy. aussi, outre le Mémoire de Rodolphe Wolf, cité plus haut, qui date du mois de juillet 1852 (*Cosmos*, t. IV, p. 89), d'autres conjectures de Gautier, publiés presque en même temps dans la *Bibliothèque universelle de Genève*, t. XXI, p. 189.

(7) [page 158]. Voy. le *Cosmos*, t. III, p. 454-458.

(8) [page 158]. Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1850, 1re part., p. 216. Voy. aussi Faraday, *Exper. Researches on Electricity*, 1851, p. 56, 73 et 76, § 2891, 2949 et 2958.

(9) [page 158]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 210 et 400 (note 43); Poggendorff's *Annalen*, t. XV, p. 334 et 335, et Sabine, *Unusual Disturbances*, t. I, 1re part., p. XIV-XVIII, où l'on voit des tables d'orages qui ont éclaté simultanément à Toronto, à Prague et dans la Terre de Van Diemen. Pendant les jours où

au Canada les orages magnétiques étaient le plus violents, le 22 mars, le 10 mai, le 6 août et le 25 septembre 1851, les mêmes phénomènes furent observés dans l'hémisphère méridional en Australie, voy. aussi Édouard Belcher, dans les *Philos. Transactions for* 1843, p. 133.

(10) [page 159]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 238.

(11) [page 161]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 204, 205 et 503 (note 50); t. II, p. 339 et 572 (notes 93 et 94); t. IV, p5. 9-70.

(12) [page 162]. J'ai fait ressortir, à des époques très-différentes, l'importance de cette proposition : une fois, en 1809, dans mon *Recueil d'Observations astronomiques* (t. I, p. 368); une autre fois, en 1839, peu de jours après le départ de sir James Ross pour son expédition au pôle Sud, dans une lettre au comte Minto, alors premier Lord de l'Amirauté (voy. *Report of the Committee of Physics and Meteorol. of the Royal Society relative to the Antarctic Expedition*, 1840, p. 88-91). J'écrivais : « Suivre les traces de l'équateur magnétique ou celle des lignes sans déclinaison, c'est gouverner (diriger la route du vaisseau) de manière à couper les lignes zéro dans les intervalles les plus petits, en changeant de rumb chaque fois que les observations d'inclinaison ou de déclinaison prouvent qu'on a dévié. Je n'ignore pas que d'après de grandes vues sur les véritables fondements d'une Théorie générale du Magnétisme terrestre, dues à M. Gauss, la connaissance approfondie de l'intensité horizontale, le choix des points où les trois éléments de déclinaison, d'inclinaison et d'intensité totale ont été mesurés simultanément, suffisent pour trouver la valeur de $\frac{V}{R}$ (Gauss, § 4 et 27), et que ce sont là les points vitaux des recherches futures; mais la somme des petites attractions locales, les besoins du pilotage, les corrections habituelles du Rumb et la

sécurité des routes continuent à donner une importance spéciale à la connaissance de la position et des mouvements de translation périodiques des lignes sans déclinaison. Je plaide ici leur cause, qui est liée aux intérêts de la géographie physique. » Il se passera encore bien des années avant que les cartes de variations construites d'après la théorie du magnétisme terrestre puissent servir de guide aux navigateurs (voy. Sabine, dans les *Philos. Transactions for* 1849, 2ᵉ part., p. 204), et les idées purement objectives, et dirigées vers l'observation réelle, que je défends ici, si elles étaient réalisées par des déterminations périodiques et des expéditions simultanées sur terre et sur mer, entreprises en vue d'un but fixé d'avance, auraient l'avantage de se prêter à une application pratique immédiate; elles assureraient une connaissance exacte du déplacement séculaire des lignes; enfin elles fourniraient à la théorie de Gauss un grand nombre de données nouvelles, susceptibles d'être soumises au calcul (voy. Gauss, § 25). Pour rendre plus facile de déterminer exactement la translation des deux lignes sans inclinaison et sans déclinaison, il serait surtout important d'établir, tous les vingt-cinq ans, des jalons, aux endroits où ces lignes entrent dans les continents et en sortent. Dans ces expéditions, semblables aux anciennes expéditions de Halley, on couperait nécessairement beaucoup d'autres lignes isocliniques et isogoniques, et l'on pourrait mesurer, sur les côtes, l'intensité horizontale et l'intensité totale, de façon à poursuivre plusieurs buts à la fois. Le vœu que j'exprime ici a été appuyé par une grande autorité maritime, à laquelle je m'en réfère toujours volontiers, par sir James Ross (*Voyage in the southern and antarctic Regions*, t. I, p. 105.)

(13) [page 162]. Acosta, *Historia de las Indias*, 1590, l. I, c. 17. J'ai déjà touché la question de savoir si la croyance des marins hollandais à l'existence de quatre lignes sans déclinaison, en fournissant la matière d'un débat entre Bond

et Beckhorrow, n'eut pas de l'influence sur la théorie des quatre pôles magnétiques de Halley. Voy. le *Cosmos*, t. II, p. 341 et 573 (note 94).

(14) [page 163]. A l'intérieur de l'Afrique, la ligne isogonique de 22° 1/4 Ouest, mérite une attention particulière, au point de vue de la physique du globe, en tant que ligne intermédiaire entre des systèmes très-différents, et parce que, d'après la construction théorique de Gauss, elle joint la partie orientale de l'océan Indien à la terre de Newfundland, à travers le continent africain. L'extension que le gouvernement de la Grande-Bretagne vient de donner généreusement à l'expédition africaine de Richardson, Barth et Overwegh, hâtera peut-être la solution de ces problèmes magnétiques.

(15) [p. 164]. Sir James Ross a traversé la courbe sans déclinaison, par 61° 30′ de latitude australe, 24° 50′ de longitude Ouest de Paris (*Voyage to the Southern Seas*, t. II, p. 357). Par 70° 43′ de latitude australe et 19° 8′ de longitude occidentale, le capitaine Crozier a trouvé, au mois de mars 1843, la déclinaison égale à 1° 38′; il était, par conséquent, très-près de la ligne zéro. Comp. Sabine, *on the magnet. declination inthe Atlantic Ocean for* 1840, dans les *Philos. Transactions for* 1849, 2e part., p. 233.

(16) [page 165]. Sir James Ross, *Voyage to the Southern Seas*, t. I, p. 104, 310 et 317.

(17) [p. 165]. Elliot, dans les *Philos. Transactions for* 1851, 1re part., p. 331, plate XIII. L'île Sandalawood est une petite île allongée, dans laquelle on recueille le bois de sandal (en malais et en javanais *tschendana,* en sanscrit *tschandana*, en arabe *ssandel*).

(18) [page 166]. C'est l'opinion de Barlow, et c'est ainsi que la ligne est tracée sur la carte jointe au *Report of the Committee for the antartic Expedition*, 1840, sous le titre de

Lines of magnetic Declinations computed according to the Theory of Mr. Gauss. D'après Barlow, la ligne sans déclinaison qui vient de l'Australie entre dans le continent asiatique par le golfe de Cambay, mais se replie immédiatement vers le Nord-Est, et aboutit à la mer du Japon, près de Thaiwan ou Formosa, au-dessus du Thibet et de la Chine. D'après Gauss, la ligne australienne monte simplement en Laponie à travers la Perse et Nishnei Nowgorod. Ce grand géomètre considère la ligne zéro de la mer du Japon et de l'archipel des Philippines, ainsi que celle qui enveloppe le groupe ovalaire fermé de l'Asie orientale, comme n'ayant aucun lien avec celle de l'Australie, de l'océan Indien, de l'Asie occidentale et de la Laponie.

(19) [page 166]. J'ai traité ailleurs (*Asie centrale,* t. III, p. 438-461), de cette identité qu'établissent mes propres observations dans la mer Caspienne, dans l'Ouralsk, au bord du Jaik, et dans la steppe qui entoure le lac Elton.

(20) [page 166]. Voy. Adolphe Erman, *Map of the magnetic Declination,* 1827-1830. Mais la carte d'Elliot prouve positivement que la ligne australienne sans déclinaison ne traverse pas Java. Cette ligne court parallèlement au littoral méridional, à une distance de 1° 1/2 de latitude. Comme, suivant Erman, mais non suivant Gauss, la ligne australienne sans déclinaison, après avoir traversé la mer du Japon entre Malacca et Bornéo, rejoint le continent à la côte septentrionale du golfe Ochotsk, près du groupe ovalaire fermé de l'Asie orientale, sous 59° 30′ de latitude, et en ressort par la presqu'île de Malacca, l'intervalle entre la ligne ascendante et la ligne descendante ne serait que de 11°, et, d'après ce tracé, la courbe sans déclinaison de l'Asie occidentale, qui joint la mer Caspienne à la Laponie russe, serait le prolongement direct et le plus prochain de la partie de la ligne qui descend du Nord au Sud.

(21) [page 167]. Dès 1843, j'ai fait connaître des documents conservés dans les archives de Moskou et de Hanovre (*Asie centrale*, t. III, p. 469-476), d'où il résulte que Leibnitz, qui traça le premier plan d'une expédition française en Égypte, s'efforça aussi, avant que personne y songeât, de mettre à profit les relations qui s'établirent en 1712 entre l'Allemagne et Pierre le Grand, pour faire déterminer régulièrement, à des époques périodiques, la position des courbes d'inclinaison et de déclinaison, dans tout l'empire russe, dont l'étendue dépasse la surface de la Lune visible aux habitants de la Terre. Dans une lettre adressée au Czar et trouvée par Pertz, Leibnitz parle d'un petit globe terrestre (terrella) que l'on conserve encore à Hanovre, et sur lequel il avait tracé la ligne sans déclinaison, *linea magnetica primaria*. Il affirme qu'il n'existe qu'une seule ligne sans déclinaison, qu'elle partage la Terre en deux parties à peu près égales, et qu'elle a quatre sinuosités, *puncta flexus contrarii*, dans lesquelles elle passe de la convexité à la concavité; que du cap Vert, cette ligne court vers les côtes orientales de l'Amérique du Nord par 36° de latitude, et que de là elle va rejoindre, à travers la mer du Sud, les côtes orientales de l'Asie et la Nouvelle-Hollande. Enfin il ajoute que cette ligne se referme sur elle-même, et qu'elle passe près des deux pôles, mais en s'arrêtant plus loin du pôle Nord, au-dessous duquel la déclinaison est de 25° Ouest, que du pôle Sud, au-dessous duquel la déclinaison n'est que de 5°. De 0° à 15°, la déclinaison orientale domine dans une grande partie de l'océan Atlantique, dans toute la mer du Sud, dans le Japon, dans une partie de la Chine et de la Nouvelle-Hollande. « Puisque le médecin Donelli est mort, dit Leibnitz, il faut le remplacer par un autre, qui administre peu de médicaments, mais qui puisse donner beaucoup de conseils scientifiques sur les expériences de déclinaison et d'inclinaison. » Il faut bien reconnaître qu'aucune vue théorique spéciale ne ressort de ces documents, complétement oubliés jusqu'en 1843.

(22) [page 167]. Voy. mes *Observations magnétiques* dans l'*Asie centrale*, t. III, p. 460.

(23) [page 167]. Erman, *Astronom. and magnet. Beobachtungen*, dans le livre intitulé *Reise um die Erde*, 2e part., t. II, p. 532.

(24) [p. 167]. Hansteen, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXI, p. 371.

(25) [page 170]. Sabine, *Magnet. und meteorol. Observations at the cape of Good Hope*, t. I, p. LX.

(26) [page 170]. Pour apprécier les mouvements de la ligne sans déclinaison, à des intervalles aussi rapprochés, et bien juger de l'ordre dans lequel ils se sont accomplis, il ne faut pas oublier que les instruments et les méthodes alors en usage peuvent entraîner une erreur de 1°.

(27) [page 170]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 503 (note 50).

(28) [page 170]. Euler, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1757, p. 176.

(29) [page 170]. Barlow, dans les *Philos. Transact. for* 1833, 2e part., p. 671. Il règne une grande incertitude sur les observations magnétiques faites à Saint-Pétersbourg, dans la première moitié du XVIIIe siècle ; il en résulterait que, de 1726 à 1772, la déclinaison aurait été constamment de 3° 15′ ou 3° 30′! Voy. Hansteen, *Magnetism. der Erde*, p. 7 et 143.

(30) [page 171]. Voy. le *Cosmos*, t. I, p. 215-228, et Dove, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XIX, p. 388.

(31) [page 172]. L'excellent travail de Lottin, Bravais, Lilliehöök et Siljeström, qui, du 17 septembre 1838 au 8 avril 1839, ont observé les apparitions de la lumière polaire dans le Finnemark, à Bossekop (lat. 69° 58′), et à Jupvig (lat. 70° 6′), a paru dans la quatrième partie des *Voyages en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux*

Feroë, sur la Corvette la Recherche (Aurores boréales). On a joint à ces observations (p. 401-435) les importants résultats obtenus de 1837 à 1840 par les inspecteurs anglais des mines de cuivre de Kalfiord (lat. 69° 56′).

(32) [page 172]. On peut voir, sur le Segment obscur de l'aurore boréale, l'ouvrage cité dans la note précédente, p. 437-444.

(33) [page 172]. Schweigger's *Jahrbuch der Chemie und Physik*, 1826, t. XVI, p. 198, et t. XVIII, p. 364. Le segment obscur et l'ascension incontestable de rayons noirs ou de stries, dans lesquels le dégagement de lumière est annulé, peut-être par l'effet de l'interférence, rappellent les recherches de Quet *sur l'Électrochimie dans le vide* et les belles expériences de Ruhmkorff, dans lesquelles, au milieu d'un air raréfié, les boules métalliques positives brillaient d'une lumière rouge, les boules négatives d'une lumière violette, de telle sorte que les bandes lumineuses parallèles étaient séparées régulièrement par des couches complétement obscures. « La lumière répandue entre les boules terminales de deux conducteurs électriques se partage en tranches nombreuses et parallèles, séparées par des couches obscures alternantes et régulièrement distinctes. » (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXV, 1852, p. 949).

(34) [page 173]. *Voyage en Scandinavie*, etc. (Aurores boréales), p. 558; sur les couronnes et les pavillons des aurores boréales, voy. les excellentes recherches de Bravais, *ibid.*, p. 502-514.

(35) [page 173]. « Draperie ondulante, flamme d'un navire de guerre déployée horizontalement et agitée par le vent, crochets, fragments d'arcs et de guirlandes » (*ibid.*, p. 35, 37, 45, 67 et 481). Une intéressante collection de ces aspects a été dessinée par l'artiste distingué, attaché à l'expédition, M. Bevalet.

(36) [page 174]. *Voyage en Scandinavie*, etc. (Aurores boréales), p. 523-528 et 557.

(37) [page 174]. *Cosmos*, t. I, p. 218 et 515 (note 74). Voy. aussi Franklin, *Narrative of a journey to the shores of the Polar Sea, in* 1819-1822, p. 597; Kæmtz, *Lehrbuch der Meteorologie*, t. III, 1836, p. 488-490. Les plus anciennes conjectures sur la liaison entre la lumière polaire et la formation des nuages sont celles qu'a exprimées Frobesius dans le livre intitulé : *Auroræ borealis Spectacula*, Helmst., 1739, p. 139.

(38) [page 175]. J'extrais de mon Journal de voyage en Sibérie un exemple remarquable : « J'ai passé, séparé de mon compagnon et à la belle étoile, toute la nuit du 5 au 6 août 1829, dans un poste avancé de Cosaques, à Krasnaja Jarki. Ce poste est placé sur l'Irtysch, à l'extrémité orientale du pays, le long de la frontière de la Dzoûngarie chinoise; il y a par conséquent quelque importance à en déterminer le lieu astronomiquement.—Nuit très-sereine — à la partie orientale du ciel se sont formées subitement, avant minuit, des traînées de cirrus, de petits moutons également espacés, distribués en bandes parallèles et polaires. La plus grande hauteur est de 35°. Le point de convergence septentrional se meut lentement vers l'Est. Ces nuages se dissipent sans atteindre le zénith, et quelques minutes après, des bandes polaires de cirrus, tout à fait semblables aux premières, se forment dans la région Nord-Est du ciel, et se meuvent très-régulièrement pendant une partie de la nuit, presque jusqu'au lever du Soleil, où ils atteignent la position N. 70° E. — Étoiles filantes en nombre inaccoutumé; anneaux colorés autour de la Lune.—Nulle trace de lumière polaire. — Nuages frangés, un peu de pluie. Le 6 août avant midi, le ciel redevient serein; il s'y forme de nouvelles bandes polaires, immobiles, dirigées du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest, et qui ne changent pas d'azimuth, comme

je l'ai vu si souvent à Quito et à Mexico. » — La déclinaison magnétique est orientale dans l'Altaï.

(39) [page 175]. Bravais qui, contrairement à ce que j'ai observé, a trouvé à Bossekop les traînées de cirrus coupant presque toujours à angle droit le méridien magnétique (*Voyages en Scandinavie*, etc. (*Phénomène de translation dans les pieds de l'arc des aurores boréales*, p. 534-537), décrit avec son exactitude ordinaire les conversions des véritables arcs auroraux (voy. *ibid.*, p. 27, 92, 122 et 487). James Ross a observé aussi et décrit, dans des aurores australes, ces changements progressifs des arcs, passant de l'Ouest-Nord-Ouest au Nord-Nord-Est (*Voyage in the Southern and Antarctic Regions*, t. I, p. 311). L'absence de coloration paraît caractériser souvent les aurores australes (*Ibid.*, t. I, p. 266, t. II, p. 209). Au sujet des nuits sans aurore boréale dans la Laponie, voy. Bravais, *Voyages en Scandinavie*, etc., p. 545.

(40) [page 175]. *Cosmos*, t. I, p. 455 (note 43) et 515 (note 73), t. III, p. 576. Les arcs auroraux vus en plein jour rappellent l'intensité lumineuse des noyaux et des queues des comètes qui, en 1843 et 1847, purent être observées dans le Nord de l'Amérique, à Parme et à Londres, très-près du Soleil.

(41) [page 176]. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. IV, 1837, p. 589.

(42) [page 176]. *Voyages en Scandinavie, en Laponie*, etc. (Aurores boréales), p. 559, et Martins, dans la traduction de la Météorologie de Kæmtz, p. 460. Sur la hauteur présumée de la lumière polaire, voy. Bravais, *Voyages en Scandinavie*, etc., p. 549 et 559.

(43) [page 177]. *Voyages en Scandinavie*, p. 462.

(44) [page 177]. Sabine, *unusual magnetic Disturbances*, 1re part., p. XVIII, XXII, 3 et 54.

(45) [page 177]. Voy. Dove, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XX, p. 333-341. L'effet inégal qu'une aurore boréale produit sur la déclinaison de l'aiguille aimantée, dans des points situés sur des méridiens fort rapprochés, peut, en beaucoup de cas, aider à reconnaître le lieu de la cause agissante, attendu qu'il s'en faut de beaucoup que les orages magnétiques partent toujours du pôle magnétique, et parce que, suivant l'assertion d'Argelander, confirmée par Bravais, le sommet de l'arc lumineux s'écarte quelquefois du méridien de plus de 11°.

(46) [page 178]. «20 décembre 1806 : ciel azuré, sans trace de nuages. Vers 10 heures du soir parut au Nord-Nord-Ouest, un arc lumineux d'un jaune rougeâtre, à travers lequel j'ai reconnu, avec une lunette de nuit, des étoiles de septième grandeur. A l'aide de Véga, qui se tenait presque au-dessus du point culminant de l'arc, j'ai pu déterminer l'azimuth de ce point. Il était un peu plus occidental que le plan vertical mené dans le sens de la déclinaison magnétique. La lumière polaire, qui éclairait la région du Nord-Nord-Ouest, repoussa l'extrémité Nord de l'aiguille, car, au lieu de continuer son mouvement vers l'Ouest, comme l'azimuth de l'arc, l'aiguille rétrograda vers l'Est. Les changements de déclinaison qui, dans ce mois, étaient ordinairement, la nuit, de 2′ 27″ à 3′, s'élevèrent progressivement durant l'aurore boréale, et sans grandes oscillations, à 26′ 28″. La déclinaison fut le plus faible au moment où le phénomène lumineux fut le plus intense, c'est-à-dire à 9^h 12^m. Nous trouvâmes que, pendant l'aurore boréale, l'intensité horizontale était de 1′ 37″,73 pour 21 oscillations. A 21^h 50^m, longtemps par conséquent après la fin de l'aurore, qui était éteinte complétement à 14^h 10′, l'intensité était encore de 1′ 37″,17 pour le même nombre d'oscillations. La

température de la pièce où nous avons mesuré les oscillations de la petite aiguille était, pendant l'aurore, de 3°,2 du thermomètre centigrade; à $21^h 50^m$, elle était de 2° 8. L'intensité avait par conséquent un peu diminué pendant l'aurore. La Lune n'offrait aucun anneau coloré. Voy. aussi Hansteen, *Magnetismus der Erde*, p. 459.

(47) [page 178]. Sabine, *on Days of unusual magnetic Disturbances*, 1re part., p. XVIII. Voy. aussi Martins, dans la *Météorologie* de Kaemtz, p. 461 : « M. Bravais conclut, des observations de Laponie, que l'intensité horizontale diminue pendant la période la plus active du phénomène de l'aurore boréale. »

(48) [page 178]. Delesse, *sur l'association des Minéraux dans les Roches qui ont un pouvoir magnétique élevé* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXI, 1850, p. 806). Voy. aussi *Annales des Mines*, 4e série, t. XV, 1849, p. 130.

(49) [page 179]. Reich, *ueber Gebirgs-und Gesteins-Magnetismus*, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. LXXVII, p. 35.

(50) [page 180]. Cette question fut surtout agitée en 1796, lorsque je remplissais les fonctions de Directeur général des Mines en Franconie, et que je signalai dans le Fichtelgebirge, près de Gefress, les remarquables propriétés polaires de la montagne de serpentine nommée Haidberg qui, en certains points, agit sur la déclinaison de l'aiguille, à la distance de 22 pieds (voy. *Intelligenz-Blatt der allgemeinen Jenaer Litteratur-Zeitung*, décembre 1796, n° 169, p. 1447, et mars 1797, n° 38, p. 323-326; Gren's *neues Journal der Physik*, t. IV, 1797, p. 136; *Annales de Chimie*, t. XXII, p. 47). J'avais cru trouver que les pôles magnétiques de la montagne étaient en sens inverse des pôles terrestres, mais les recherches de Bischoff et de Goldfuss (*Beschreibung des Fichtelgebirges*, t. I, p. 196), tout en confirmant pour l'année 1816, l'existence d'axes magnétiques qui traversent le Haidberg et présentent des pôles contraires sur les versants opposés de la

montagne, ont prouvé que l'orientation des axes était différente de celle que j'avais indiquée. Le Haidberg est formé de serpentine d'un vert porracé, dont une partie se transforme en chlorite et en amphibole schisteuses. Nous avons trouvé près du village Voysaco, dans les Andes de Pasto, des galets de porphyre argileux, et sur le Chimborazo, des groupes de trachyte en forme de colonnade, qui, à trois pieds de distance, mettaient l'aiguille en mouvement. Je fus surpris de rencontrer, dans les obsidiennes noires et rouges de Quinche, au nord de Quito, comme dans les obsidiennes vertes du Cerro de las Navajas, à Mexico, de gros fragments avec des pôles nettement déterminés. Toutes les grandes montagnes magnétiques de l'Oural, telles que le Blagodat, près de Kuschwa, la Missokaja Gora, près de Nishne Tagilsk, le Katschkanar, près de Nishne Turinsk, ont surgi du milieu d'un porphyre augitique, ou plutôt ouralitique. Dans la grande montagne magnétique de Blagodat, que j'ai visitée en 1829 avec Gustave Rose, l'action commune des diverses parties polarisantes ne paraît pas avoir produit un axe magnétique déterminé et reconnaissable. Les pôles magnétiques sont semés confusément, à côté les uns des autres. Erman avait déjà fait la même observation (*Reise um die Erde*, t. I, p. 362). Sur l'intensité de la force polaire dans la serpentine, le basalte et le trachyte, comparée avec la quantité des parties de fer magnétique et d'oxyde de fer mêlées à ces roches, comme aussi sur le développement de la polarité par le contact de l'air, phénomène déjà observé par Gmelin et par Gibbs, on peut consulter les nombreuses et importantes expériences de Zaddach, dans ses *Beobachtungen über die magnetische Polarität des Basaltes und der trachytischen Gesteine*, 1851, p. 56, 65-78 et 95. Après avoir comparé, dans un grand nombre de fragments basaltiques, la polarité de colonnes depuis longtemps isolées et de parois de colonnes mises pour la première fois en contact avec l'atmosphère, et avoir dépouillé des masses rocheuses de la terre qui les entourait, en commen-

çant par les parties supérieures, le docteur Zaddach croit pouvoir conclure (*ibid.*, p. 74 et 80) que la propriété polaire, qui paraît toujours le plus intense au libre contact de l'atmosphère et dans une roche sillonnée de crevasses, se propage habituellement du dehors au dedans, et de haut en bas. Gmelin dit de la grande montagne magnétique Ulu-utasse-Tau, dans le pays des Baskires, près du Jaik, que les parties exposées au jour ont la plus forte intensité magnétique, et que celles qui sont engagées dans le sol, ont une force beaucoup moins grande. (*Reise durch Sibirien*, 1740-1743, t. IV, p. 345). Mon illustre maître Werner s'est prononcé aussi affirmativement, dans ses leçons, à propos du fer magnétique de la Suède, sur l'influence du contact de l'air, qui augmente assurément la polarité et l'attraction par un procédé tout autre que celui d'un accroissement d'oxydation. Le colonel Gibbs s'exprime en ces termes, au sujet de la mine d'aimant située près de Sucassuny à New-Jersey : « The ore raised from the bottom of the mine has no magnetism at first, but acquires it after it has been some time exposed to the influence of the atmosphère » (*on the Connexion of Magnetism and Light*, dans l'*American Journal of Science* de Silliman, t. I, 1819, p. 89.) Une telle affirmation est bien de nature a donner le désir de la vérifier par des expériences exactes. — Lorsque j'ai signalé ce fait, que ce n'est pas seulement la qualité des petites parties de fer mêlées aux roches, mais aussi leur distribution relative qui agit comme résultante, et détermine l'intensité de la force polaire, j'ai considéré ces petites parties comme autant de petits aimants. On peut consulter sur cet objet les vues nouvelles exposées dans un Mémoire de Melloni, que ce grand physicien a lu au mois de janvier 1853, devant l'Académie royale de Naples (*Esperienze intorno al magnetismo delle Rocche*, Mem. 1, *sulla polarità*). — Le préjugé depuis si longtemps répandu, particulièrement sur la mer Méditerranée, que le frottement d'une barre de fer aimantée avec de l'oignon, ou que seulement l'haleine de gens ayant

mangé de l'oignon suffit pour affaiblir la propriété directrice de l'aimant et pour désorienter le pilote qui tient le gouvernail, est déjà mentionnée dans le commentaire de Proclus sur Ptolémée : *Procli Diadochi paraphrasis Ptolem. libri IV de Siderum affectionibus*, 1635, p. 20. Voy. aussi Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, t. II, p. 545. Il est difficile de deviner l'origine de ce préjugé populaire.

(1) [page 182]. *Cosmos*, t. III, p. 39.

(2) [page 182]. *Ibid.*, t. I, p. 226-228.

(3) [page 184]. *Ibid.*, t. III, p. 43, 473, 530 et 538-540.

(4) [page 185]. *Ibid.*, t. I, p. 239.

(5) [page 185]. *Ibid.*, p. 253. Comp. Bertrand-Geslin, *sur les roches lancées par le volcan de boue du Monte Zibio, près du bourg de Sassuolo*, dans Humboldt, *Relation historique du voyage aux régions équinoxiales du Nouveau-Continent*, t. III, p. 566.

(6) [page 186]. Robert Mallet, dans les *Transactions of the Royal Irish Academy*, t. XXI, 1848, p. 51-113; voyez aussi du même savant : *First Report on the facts of Earthquake Phænomena*, dans le *Report of the Meeting of the British Association for the advancement of Science, held in* 1850, p. 1-89, *Manual of scientific Enquiry for the use of the British Navy*, 1849, p. 196-223. On peut aussi consulter William Hopkins, *on the geological theories of Elevation and Earthquakes*, dans le *Report of the British Assoc. for* 1847, p. 33-92. J'ai souvent mis à profit la critique sévère à laquelle M. Mallet a soumis mon travail antérieur dans ses précieux Mémoires (*Irish Transact.*, p. 99-101, et *Meeting of the British Assoc. held at Edinb.*, p. 209).

(7) [page 186]. Thomas Young, *Lectures on Natural Philosophy*, 1807, t. I, p. 717.

(8) [page 188]. Je m'en réfère à la statistique que le corrégidor de Tacunga m'a communiquée en 1802. D'après ce document la perte s'élevait de 30000 ou à 34 000 hommes. Cependant, vingt ans après environ, le chiffre des victimes tuées sur le coup fut réduit d'un tiers.

(9) [page 188]. *Cosmos*, t. I, p. 240.

(10) [page 189]. Hopkins, dans le *Report of the Meeting of the British Assoc. in* 1847, p. 57, exprime des doutes au sujet de l'effet produit sur le « molten subjacent fluid confined into internal lakes », comme Mallet en a élevé sur : « the subteraneous lava tidal wave, moving the solid crust above it ». (*Meeting, in* 1850, p. 20). Poisson, avec lequel je me suis souvent entretenu de l'hypothèse du flux et du reflux souterrains, considérés comme l'effet du Soleil et de la Lune, ne niait pas cette influence, mais il la jugeait insignifiante, parce que la différence du niveau n'est en pleine mer, que de 14 pouces. Ampère disait au contraire :« Ceux qui admettent la liquidité du noyau intérieur de la Terre paraissent ne pas avoir songé assez à l'action qu'exercerait la Lune sur cette énorme masse liquide : action d'où résulteraient des marées analogues à celles de nos mers, mais bien autrement terribles, tant par leur étendue que par la densité du liquide. Il est difficile de concevoir, comment l'enveloppe de la Terre pourrait résister, étant incessamment battue par une espèce de bélier hydraulique (?) de 1 400 lieues de longueur (Ampère, *Théorie de la Terre,* dans la *Revue des Deux-Mondes,* juillet 1833, p. 148). On ne peut guère douter que l'intérieur de la Terre ne soit liquide, puisque les molécules restent mobiles, malgré la pression énorme qu'elles supportent ; mais alors les mêmes conditions qui produisent le flux et le reflux de l'Océan à la surface de la Terre se retrouvent dans l'intérieur, et la force qui est la cause du flux, doit diminuer, à mesure que l'on approche du centre, parce que la différence des distances entre deux

points opposés, considérés relativement aux astres qui les attirent, diminue à mesure que la profondeur augmente; or la force dépend uniquement de la différence des distances. Si l'écorce solide de la Terre résiste au déplacement de la masse liquide, cette masse se bornera à exercer une pression contre des points déterminés de l'écorce terrestre. Il n'y aura pas, suivant les expressions de mon ami l'astronome Brunnow, plus de marée que si l'Océan avait une couverture de glace qu'aucun effort ne pût briser. On calcule l'épaisseur de la croûte solide de la Terre d'après le point de fusion des diverses espèces de roches et d'après la loi qui règle l'augmentation de la chaleur, de la surface à l'intérieur du globe. J'ai déjà établi dans le premier volume du *Cosmos* (p. 30 et 443), la probabilité, que, à une profondeur d'un peu plus de 5 milles géographiques (5 4/10), se trouve une chaleur à fondre le granite. Élie de Beaumont, dans sa *Géologie* publiée par Vogt (1846, t. I, p. 32), représente à peu près par le même nombre, 45 000 mètres ou 6 milles géographiques, à 7 419 mètres par mille, l'épaisseur de la croûte solide de la Terre. D'après les ingénieuses expériences, si importantes pour le progrès de la géologie, auxquelles s'est livré Bischof, sur la fusion de différents minéraux, l'épaisseur des couches de la Terre, non fondues, serait de 115 000 à 128 000 pieds ou, en moyenne, de 5 1/3 milles géographiques (voy. Bischof, *Wärmelehre des Innern unseres Erdkœrpers*, p. 286 et 217). Je suis d'autant plus étonné que Hopkins, qui adopte une limite déterminée, et non pas une transition graduelle entre la partie solide de la Terre et les matières en fusion, arrive à la conséquence suivante: « The thickness of the solid shell cannot be less than about one fourth or one fifth (?) of the radius of its external surface. » (*Meeting of the Brit. Assoc. held at Oxford, in* 1847, p. 51). La première supposition de Cordier n'allait cependant pas au delà de 14 milles géographiques, sans la correction nécessitée par la pression des couches augmentant avec la profondeur, et par les inégalités

hypsométriques de la surface terrestre. L'épaisseur de la partie solide de la Terre est loin probablement d'être partout la même.

(11) [page 190]. Voy. Gay-Lussac, *Reflexions sur les Volcans*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, 1823, p. 418 et 426. L'auteur, qui a observé avec Léopold de Buch et avec moi la grande éruption de lave du Vésuve, en septembre 1805, a eu le mérite de soumettre les hypothèses chimiques à une critique sévère. Il cherche la cause des phénomènes volcaniques dans une « affinité très-énergique et non encore satisfaite entre les substances, à laquelle un contact fortuit leur permettait d'obéir »; il se montre en général favorable à l'hypothèse abandonnée de Davy et d'Ampère : « en supposant que les radicaux de la silice, de l'alumine, de la chaux et du fer soient unis au chlore dans l'intérieur de la Terre. » Il admet aussi que, sous certaines conditions, l'eau de la mer pénètre à l'intérieur du globe (p. 419, 420, 423 et 426). On peut voir, au sujet des difficultés d'une théorie fondée sur la filtration de l'eau, Hopkins, dans le *Meeting of* 1847, p. 38.

(12) [page 190]. D'après les belles analyses qu'a faites Boussingault, aux bords de cinq cratères (Tolima, Purace, Pasto, Tuqueras et Cumbal), les vapeurs exhalées par les volcans de l'Amérique du Sud sont complétement dépourvues d'acide hydrochlorique, tandis qu'il en existe dans les vapeurs des volcans d'Italie. Voy. *Annales de Chimie*, t. LII, 1833, p. 7 et 23.

(13) [page 190]. *Cosmos*, t. I, p. 270. Davy, tout en abandonnant de la manière la plus formelle l'opinion que les éruptions volcaniques sont causées par le contact des métaux alcalins avec l'air et l'eau, admet cependant que la présence de métalloïdes oxydables dans l'intérieur de la Terre

peut concourir à déterminer les phénomènes volcaniques qui ont déjà commencé de se produire.

(14) [page 191]. « J'attribue, dit Boussingault, la plupart des tremblements de terre dans la Cordillère des Andes à des éboulements qui ont lieu dans l'intérieur de ces montagnes par le tassement qui s'opère et qui est une conséquence de leur soulèvement. Le massif qui constitue ces cimes gigantesques n'a pas été soulevé à l'état pâteux; le soulèvement n'a eu lieu qu'après la solidification des roches. J'admets, par conséquent, que le relief des Andes se compose de fragments de toutes dimensions, entassés les uns sur les autres. La consolidation des fragments n'a pu être tellement stable, dès le principe, qu'il n'y ait des tassements après le soulèvement, qu'il n' y ait des mouvements intérieurs dans les masses fragmentaires. » (*sur les Tremblements de terre des Andes,* dans les *Annales de Chimie et de Physique,* t. LVIII, 1835, p. 84-86.) Dans le récit de sa mémorable ascension au Chimborazo (16 décembre 1831), on lit ces mots : « Comme le Cotopaxi, l'Antisana, le Tunguragua, et en général les volcans qui hérissent les plateaux des Andes, la masse du Chimborazo est formée par l'accumulation de débris trachytiques, amoncelés sans aucun ordre. Ces fragments, d'un volume souvent énorme, ont été soulevés à l'état solide par des fluides élastiques qui se sont fait jour sur les points de moindre résistance; leurs angles sont toujours tranchants. » (*Ibid.*, p. 176; voy. aussi Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale,* t. I, 1854, p. 212). La cause des tremblements de terre indiquée ici est celle qu'Hopkins, dans sa théorie analytique des phénomènes volcaniques, appelle : « A shock produced by the falling of the roof of a subterranean cavity » (*Meeting of the Brit. Assoc. at Oxford,* 1847, p. 82).

(15) [page 191]. Mallet, *Dynamics of Earthquakes,* p. 74, 80 et 82; Hopkins, dans *Meeting at Oxford,* p. 74-82. Tout ce

que nous savons des ondes d'ébranlement et des vibrations dans les corps solides démontre l'impossibilité de soutenir les anciennes théories sur la propagation du mouvement à travers une suite de cavités. Les cavités ne peuvent agir que d'une manière secondaire dans les tremblements de terre, c'est-à-dire comme des réservoirs ouverts aux vapeurs et aux gaz condensés. Gay-Lussac dit très-bien (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, 1823, p. 428) : « La Terre, vieille de tant de siècles, conserve encore une force intestine, qui élève des montagnes (dans la croûte oxydée), renverse des cités, et agite la masse entière. La plupart des montagnes, en sortant du sein de la Terre, ont dû y laisser de vastes cavités, qui sont restées vides, à moins qu'elles n'aient été remplies par l'eau (et des fluides gazeux). C'est bien à tort que Deluc et beaucoup de géologues se servent de ces vides, qu'ils s'imaginent se prolonger en longues galeries, pour propager au loin les tremblements de terre. Ces phénomènes, si grands et si terribles, sont de très-fortes ondes sonores, excitées dans la masse solide de la Terre par une commotion quelconque, qui s'y propage avec la même vitesse que le son s'y propagerait. Le mouvement d'une voiture sur le pavé ébranle les plus vastes édifices, et se communique à travers des masses considérables, comme dans les carrières profondes au-dessous de Paris. »

(16) [page 191]. Sur les phénomènes d'interférence dans les ondes de la Terre, analogues à ceux qui se produisent dans les ondes sonores, voy. Humboldt, *Cosmos*, t. I, p. 229, et *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, 1854, p. 435.

(17) [page 191]. Mallet, *on vorticose shocks and cases of twisting*, dans *Meeting of the Brit. Assoc. in* 1850, p. 33 et 49, et dans l'*Admiralty Manual*, p. 213. Voy. aussi le *Cosmos*, t. I, p. 230.

(18) [page 192]. Boussingault a visité les cônes de Moya,

19 ans après moi. « Rarement on séjourne quelques années dans les Andes, sans voir des éruptions boueuses, suites du tremblement de terre, comme celles de la Moya de Pelileo, qui ont enseveli des villages entiers. » (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LVIII, p. 81. Voy. aussi *Cosmos*, t. I, p. 240).

(19) [page 193]. On peut consulter, sur le déplacement des édifices et des plantations, par suite du tremblement de terre de la Calabre, Lyell, *Principles of Geology*, t. I, p. 484-491. Au sujet du moyen de salut qu'ont fourni les crevasses dans le grand tremblement de terre de Riobamba, voy. Humboldt, *Relation historique*, t. II, p. 642. La fermeture des crevasses est attestée par ce fait que, lors du célèbre tremblement de terre qui eut lieu durant l'été de 1851, dans la province napolitaine de la Basilicate, à Barile, près de Melfi, a on trouvé, d'après le rapport de Sacchi, une poule dont les deux pattes étaient prises dans le pavé.

(20) [page 195]. *Cosmos*, t. I, p. 230. Hopkins a très-bien démontré théoriquement que les crevasses produites par les tremblements de terre sont d'un grand secours pour étudier la formation des filons, et le phénomène du rejet d'un filon par un autre de formation plus récente. Werner, dans sa *Theorie der Gänge*, publiée en 1791, a établi, longtemps avant Philips, les rapports d'âge entre la veine déplacée et celle qui la traverse. Voy. aussi *Report of the Meeting of the Brit. Assoc. at Oxford*, 1847, p. 62.

(21) [page 196]. Voy. sur l'ébranlement simultané du calcaire tertiaire de Cumana et de Maniquarez, depuis le grand tremblement de terre qui a détruit Cumana, le 14 décembre 1796, Humboldt, *Relation historique*, t. I, p. 314, *Cosmos*, t. I, p. 238, et Mallet, dans *Meeting of the Brit. Assoc. in* 1850, p. 28.

(22) [page 196]. Abich, *über Daghestan, Schagdagh und Ghilan*, dans Poggendorff's *Annalen*, t. LXXVI, 1849, p. 157.

Par suite du tremblement de terre du 29 juillet 1846, dont le cercle d'ébranlement, parti, à ce que l'on suppose, de Saint-Goar sur le Rhin, se fit sentir à de grandes distances, l'eau salée qui remplissait le fonds d'un puits artésien situé près de Sassendorf en Westphalie, s'est accrue, d'après une mesure fort exacte, d'un et demi pour cent, probablement, parce que de nouvelles failles s'étaient ouvertes et avaient livré passage aux eaux. Voy. Nœggerath, *das Erdbeben im Rheingebiete vom* 29 *juli* 1846, p. 14. D'après la remarque de Charpentier, la température de la source sulfureuse de Lavey, au-dessus de Saint-Maurice, sur le bord du Rhône, est montée de 31° à 36°,3, pendant le tremblement de terre qui s'est fait sentir en Suisse, le 25 août 1851.

(23) [page 197]. A Schemacha, située sur une hauteur de 2 245 pieds, l'une des stations météorologiques que le prince Woronzow a fait établir dans le Caucase sous la direction d'Abich, l'observateur a consigné dans son Journal dix-huit tremblements de terre, durant la seule année 1848.

(24) [page 197]. Voy. *Asie centrale,* t. I, p. 324-329; t. II, p. 108-120, et surtout ma carte des Montagnes et Volcans de l'Asie, comparée avec les cartes géognostiques du Caucase et du plateau de l'Arménie, publiées par Abich, et avec la carte de l'Asie Mineure de Pierre Tchihatchef, 1853. Voy. aussi Rose, *Reise nach dem Ural, Altai und kaspischen Meere,* t. II, p. 576 et 597. J'écrivais autrefois dans l'*Asie centrale :* « Du Tourfan, situé sur la pente méridionale du Thian-schan, jusqu'à l'archipel des Açores, il y a 120 degrés de longitude. C'est vraisemblablement la bande de réactions volcaniques la plus longue et la plus régulière, oscillant faiblement entre 38 et 40 degrés de latitude, qui existe sur la Terre; elle surpasse de beaucoup en étendue la bande volcanique de la Cordillère des Andes dans l'Amérique méridionale. J'insiste d'autant plus sur ce singulier *alignement* d'arêtes, de soulè-

vements, de crevasses et de propagations de commotions, qui comprend un tiers de la circonférence d'un *parallèle à l'équateur*, que de petits accidents de la surface, l'inégale hauteur et la largeur des rides ou soulèvements linéaires, comme l'interruption causée par les bassins des mers (concavité Aralo-Caspienne, Méditerranée et Atlantique), tendent à marquer les grands traits de la constitution géologique du globe. Cet aperçu hasardé d'une ligne de commotion régulièrement prolongée n'exclut en aucune manière d'autres lignes selon lesquelles les mouvements peuvent se propager également ». Comme la ville de Khotan et le pays qui se trouve au sud du Thian-schan ont été les plus anciens et les plus célèbres centres du bouddhisme, la littérature bouddhique s'est occupée de bonne heure et très-sérieusement des causes des tremblements de terre (voy. *Foe-koue-ki* ou *Relation des royaumes bouddhiques*, trad. par M. Abel Rémusat, p. 217). Les partisans du Sâkhyamuni en comptent huit, parmi lesquelles une roue en acier, à laquelle sont suspendues des reliques (*s'arîra*, mot sanscrit qui signifie *corps*), joue le principal rôle. — Une explication mécanique pour un phénomène dynamique n'est guère plus déraisonnable que plusieurs de nos mythes géologiques et magnétiques, auxquels on n'a renoncé que bien tard. D'après une remarque de Klaproth, les Religieux, et principalement les moines mendiants (Bhikchous) auraient eu le pouvoir de faire trembler la Terre et de mettre en mouvement la roue souterraine. Les voyages de Fahian, auteur du *Foe-koue-ki*, datent du commencement du v[e] siècle.

(25) [page 198]. Curtius, *Peloponnesos*, t. I, p. 42-46.

(26) [page 198]. Lydus, *de Ostentis*, c. 54, p. 189, ed. Hase.

(27) [page 198]. *Cosmos*, t. III, p. 733.

(28) [page 198]. Aristote, *Meteorologica*. t. II, p. 368.

(29) [page 198]. Letronne, *la Statue vocale de Memnon*, 1833, p. 23-27 et 255.

(30) [page 199]. Voy. Acosta, *Viajes cientificos á los Andes ecuatoriales*, 1849, p. 56.

(31) [page 199]. Voy. Humboldt, *Cosmos*, t. I, p. 232-235 et 519, et *Relation historique*, t. IV, c. 14, p. 31-38. On trouve dans *Report of the Meeting of the British Assoc. in* 1850, p. 41-46, et dans *Admiralty Manual*, 1849, p. 201 et 217, des considérations théoriques très-profondes de Mallet sur les ondes sonores à travers la terre et sur les ondes sonores dans l'air. Certains animaux, sous les tropiques, ressentent avant l'homme les plus légères commotions du sol; ce sont, ainsi que je m'en suis assuré moi-même : les poules, les cochons, les chiens, les ânes et les crocodiles (Caïmans). Les crocodiles quittent instantanément le lit des fleuves.

(32) [page 199]. *Cosmos*, t. I, p. 234 et 519.

(33) [page 201]. Voy. Jules Schmidt, dans Nœggerrath, *ueber das Erdbeben vom* 29 *Juli* 1846, p. 28-37. Avec la vitesse du tremblement de terre de Lisbonne, telle qu'elle est indiquée dans le texte, le tour de l'équateur pourrait être fait en 45 heures environ. Michell (*Philos. Transact.*, t. LI, 2e part., p. 572), n'a trouvé, pour le tremblement de terre du 1er nov. 1755, que 50 milles anglais par minute, c'est-à-dire 4170 pieds de Paris par seconde, au lieu de 7464. Il est probable que ces différences tiennent à l'inexactitude des observations anciennes et à la différence des voies par lesquelles s'est propagé l'ébranlement. Un passage de Proclus, dans son Commentaire sur le *Cratyle* de Platon, éclaircit d'une manière remarquable le rapport que l'on supposait exister entre Neptune et les ébranlements souterains (*Cosmos*, t. IV, p. 202) : «Parmi les trois divinités, la divinité intermédiaire, Poseidon, est une cause de mouvement pour toute chose, même pour ce qui est immobile. Comme principe de mouvement, il s'appelle Ἐννοσίγαιος. C'est à lui qu'est échu le lot du milieu, c'est-à-dire la mer mobile, lorsque les dieux ont

tiré au sort l'empire de Kronos. Voy. Creuzer, *Symbolik una Mythologie*, t. III, 1842, p. 260. L'Atlantis de Solon et la Lyctonie qui, ainsi que je le conjecture, a beaucoup de rapport avec cette contrée, ne représentent autre chose que des mythes géologiques; aussi, ces deux pays, anéantis par les tremblements de terre, sont-ils considérés comme soumis à la domination de Neptune et opposés aux continents de Saturne. D'après Hérodote (l. II, c. 43 et 50), Neptune était une divinité de la Lybie, inconnue à l'Égypte. Sur ces relations diverses, sur la disparition du lac Tritonis en Lybie, détruit par un tremblement de terre, et sur la croyance à la rareté des ébranlements souterrains dans la vallée du Nil, voy. mon *Examen critique de la Géographie du Nouveau Continent*, t. I, p. 171 et 179.

(34) [page 204]. Les explosions du Sangay ou volcan de Macas se suivaient en moyenne tous les 13″,4 (voy. Wisse, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXVI, 1853, p. 720). J'aurais pu citer aussi, comme exemple de commotions circonscrites dans un très-petit espace, le Rapport du comte Larderel sur les *Lagoni* de Toscane. Les vapeurs qui contiennent du bore ou de l'acide borique annoncent leur présence et leur éruption imminente à travers les crevasses, en ébranlant les roches environnantes. Voy. le Mémoire de Larderel, *sur les Établissements industriels de la production d'acide boracique en Toscane*, 1852, p. 15.

(35) [page 205]. Je me félicite de pouvoir citer, à l'appui de ce que j'ai essayé de développer dans le texte, une grave autorité. « Dans les Andes, dit Boussingault (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LVIII, 1835, p. 83), l'oscillation du sol, due à une éruption de volcans, est pour ainsi dire locale, tandis qu'un tremblement de terre, qui, en apparence du moins, n'est lié à aucune éruption volcanique, se propage à des distances incroyables. Dans ce cas, on a remarqué que les se-

cousses suivaient de préférence la direction des chaînes de montagnes, et se sont principalement ressenties dans les terrains alpins. La fréquence des mouvements dans le sol des Andes, et le peu de coïncidence que l'on remarque entre ces mouvements et les éruptions volcaniques, doivent nécessairement faire présumer qu'ils sont, *dans le plus grand nombre de cas*, occasionnés par une cause *indépendante des volcans*. »

(36) [page 206]. Voici la suite des grands événements naturels arrivés dans les années 1796 et 1797, 1811 et 1812 :

27 septembre 1796 : Éruption du volcan de la Guadeloupe, dans les petites Antilles, après un repos de plusieurs années.

Novembre 1796 : Le volcan situé sur le plateau de Pasto, entre les rivières Guaytara et Juanambu, s'allume et commence à fumer sans interruption.

14 décembre 1796 : Tremblement de terre et destruction de la ville de Cumana.

4 février 1797 : Tremblement de terre et destruction de Riobamba. Dans la même matinée, disparut pour toujours la colonne de fumée du volcan de Pasto, situé à 48 milles géographiques de Riobamba, sans qu'aucune commotion ait été ressentie dans les environs du volcan.

30 janvier 1811 : Première apparition de l'île Sabrina dans le groupe des Açores, près de l'île San Miguel. Le soulèvement de cette île, comme celui de la petite île Kameni (Santorin) et celui du volcan de Jorullo, précéda l'éruption enflammée. Après une éruption de scories qui dura six jours, l'île s'éleva jusqu'à 300 pieds au-dessus de la mer. C'était la troisième fois que réapparaissait cette île, à des intervalles de 91 et 92 années, et toujours près du même lieu.

Mai 1811 : Plus de 200 secousses souterraines dans l'île Saint-Vincent, jusqu'au mois d'avril 1812.

Décembre 1811 : D'innombrables secousses souterraines dans les vallées de l'Ohio, du Mississipi et de l'Arcansas jus-

qu'en 1813. Entre Neu-Madrid, Little-Prairie et la Saline au nord de Cincinnati, les tremblements de terre se succédèrent presque à chaque heure, pendant plusieurs mois.

Décembre 1811 : Secousse isolée à Caracas.

26 mars 1812 : Tremblement de terre et destruction de la ville de Caracas. Le cercle d'ébranlement se répandit jusqu'au delà de Santa-Marta, de la ville de Honda et de la haute plaine de Bogota, à 135 milles de Caracas. Le mouvement dura jusqu'au milieu de l'année 1813.

30 avril 1812 : Éruption du volcan de Saint-Vincent. Le même jour, à deux heures du matin, on entendit un grand fracas souterrain, semblable à une décharge d'artillerie, qui retentit avec la même intensité sur les côtes de Caracas, dans les Llanos de Calabozo et du Rio Apure, sans être accompagné d'aucun ébranlement souterrain (voy. plus haut p. 199.) Ce bruit fut également entendu dans l'île Saint-Vincent; ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'il était plus fort à quelque distance sur la mer.

(37) [page 209]. Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 376.

(38) [page 209]. Afin que l'on puisse comparer la température des sources, sous les tropiques, au moment où elles jaillissent des couches de la Terre, avec celle des fleuves qui coulent à ciel découvert, j'extrais de mes journaux de voyage les nombres moyens qui suivent :

Rio Apure: latitude 7° 45′; température 27°,2.

Orénoque : latit. entre 4° et 8°; tempér. de 27°,5 à 29°,6.

Sources dans la forêt, jaillissant de rochers de granite, près de la cataracte de Maypures, 27°,8.

Cassiquiare, le bras de l'Orénoque supérieur qui forme la jonction avec le fleuve des Amazones : 24°,3 seulement.

Rio Negro, au-dessus de San Carlos: latit. bor. 1°53′ tout au plus; tempér. 23°,8 seulement.

Rio Atabapo : latit. 3° 50′; tempér. 26°,2.

Orénoque, près de l'endroit où il reçoit l'Atabapo : 27°,8.

Rio Grande de la Magdalena : latit. de 5° 12′ à 9° 56′, tempér. 26°,6.

Fleuve des Amazones, en face du Pongo de Rentema, dans la province Jaen de Bracamoros : latit. austr. 5° 31′, hauteur au-dessus de la mer du Sud 1200 pieds à peine, tempér. 22°,5 seulement.

La température de la grande masse d'eau de l'Orénoque approche par conséquent de la température moyenne de l'air environnant. En inondant au loin les savannes, ses eaux jaunâtres, qui exhalent l'odeur de l'hydrogène sulfuré, s'échauffent jusqu'à 33°,8 ; c'est la température que j'ai trouvée dans la Lagartera, remplie de crocodiles, qui se trouve à l'est de Guayaquil. Le sol couvert par les eaux reçoit, comme dans les rivières peu profondes, la chaleur qui rayonne du Soleil.— Sur les causes diverses qui maintiennent la température plus basse dans les eaux du Rio Negro, colorées, au reflet de la lumière, de la teinte brune du café, et dans les eaux blanches du Cassiquiare, à savoir : un ciel toujours couvert, des pluies abondantes, les vapeurs qu'exhalent d'épaisses forêts, l'absence de plaines de sable brûlant sur les bords, voyez ma *Relation historique*, t. II, p. 463 et 509. J'ai trouvé que la température du Rio Guancabamba ou Chamaya, qui se jette dans le fleuve des Amazones, près du Pongo de Rentema, ne dépassait pas 19°,8, ce qui tient à ce que les eaux descendent avec une très-grande rapidité du lac de Simicocha, situé à une grande hauteur sur la Cordillère. Durant les 52 jours que j'ai mis à remonter le fleuve de la Madeleine, depuis Mahates jusqu'à Honda, j'ai reconnu clairement, à la suite d'observations réitérées, que l'élévation de la surface de l'eau est annoncée plusieurs heures d'avance par l'abaissement de la température du fleuve. Le refroidissement s'opère avant que les eaux froides des montagnes descendent des Paramos voisins. La chaleur et l'eau se meuvent, pour ainsi dire, en sens opposé, et avec une vitessse très-inégale. Lors-

que nous vîmes près de Badillas, le niveau des eaux monter subitement, la température s'était abaissée longtemps auparavant de 27° à 23°,5. Pendant la nuit, lorsqu'on est campé avec tout ses bagages sur une île de sable peu élevée, ou sur le bord du fleuve, une crue subite (avenida) peut être dangereuse; il n'est donc pas sans intérêt d'être prévenu à temps par un signe précurseur. — Je crois devoir rappeler que toutes les fois que le contraire n'est pas spécifié, les degrés de température indiqués dans cet ouvrage sont ceux du thermomètre centigrade.

(39) [page 210]. Voy. Léopold de Buch, *Physicalische Beschreibung der Canarischen Inseln*, p. 8; Poggendorff's, *Annalen*, t. XII, p. 403; *Bibliothèque britannique* (Sciences et arts), t. XIX, 1802, p. 263; Wahlenberg, *de Veget. et Clim. in Helvetia septentrionali observatis*, p. LXXVIII et LXXXIV, et *Flora Carpathica*, p. XCIV, et dans Gilbert's *Annalen*, t. XLI, p. 115; voy. aussi Humboldt, dans les *Mémoires de la Société d'Arcueil*, t. III, 1817, p. 599 (voy. aussi *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 304 et suiv.).

(40) [page 210]. Voy. de Gasparin, dans la *Bibliothèque universelle* (Science et arts), t. XXXVIII, 1828, p. 54, 113 et 264; *Mémoires de la Société centrale d'Agriculture*, 1826, p. 178; Schouw, *Tableau du climat et de la végétation de l'Italie*, t. I, 1839, p. 133-195; Thurmann, *sur la Température des sources du Jura, comparée à celle des sources de la plaine suisse des Alpes et des Vosges*, dans l'*Annuaire météorol. de la France*, 1850, p. 258-268. — M. de Gasparin partage l'Europe, sous le rapport de la fréquence des pluies d'été et d'automne, en deux régions bien tranchées. On trouvera de nombreux matériaux sur ce sujet dans Kaemtz, *Lehrbuch der Meteorologie*, t. I, p. 448-506 et au chap. III de la trad. franç. D'après Dove (Poggendorff's *Annalen*, t. XXXV, p. 376), les maxima des courbes de la plus grande quantité de pluie mensuelle tombent, en Italie, dans les mois de mars et de novembre

pour les lieux abrités au Nord par une chaîne de montagnes, en avril et en octobre pour ceux qui ont au contraire les montagnes au Sud. On peut résumer ainsi, d'une manière générale, l'ensemble des relations météorologiques concernant la pluie dans la zone tempérée. La période des pluies d'hiver dans la région intertropicale se sépare de plus en plus, à mesure que l'on s'éloigne de cette zone, en deux maxima reliés entre eux par des pluies moins abondantes, et qui se réunissent de nouveau en Allemagne, pour former un maximum d'été, d'où il résulte que dans cette contrée la période sans pluie cesse complétement d'exister. Voy. à ce sujet le chapitre *Geothermik*, dans l'excellent ouvrage de Naumann : *Lehrbuch der Geognosie*, t. I, 1850, p. 41-73.

(41) [page 210]. *Cosmos*, t. IV, p. 51.

(42) [page 214]. *Ibid.* t. I, p. 197 et 499 (note 39), t. IV, p. 46 et 548 (note 56).

(43) [page 214]. *Ibid.*, t. IV, p. 41.

(44) [page 214]. Mina de Guadalupe, une des *Minas de Chota*, *ibid.*, p. 47.

(45) [page 215]. Humboldt, *Tableaux de la nature*, t. II, p. 213, de la traduct. franç. publiée par Gide.

(46) [page 215]. Cette mine est située sur la grande Fleuss, dans le Moll-Thal des monts Tauern. Voy. Hermann et Adolf Schlagintweit : *Untersuch ueber die physicalische Geographie der Alpen*, 1850, p. 242-273.

(47) [page 217]. Hermann et Adolf Schlagintweit : *Monte-Rosa*, 1853, c. VI, p. 212-225.

(48) [page 218]. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 156 et suiv., de la traduct. franç.

(49) [page 219]. *Ibid.*, p. 159 et 215.

(50) [page 222]. Ici je ne puis partager l'opinion d'un physicien de mes amis, auteur d'excellents travaux sur la distribution de la chaleur terrestre. Voy., sur les causes qui produisent les sources chaudes de Louèche et de Warmbrunn, Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physicalischen Geologie*, t. I, p. 127-133.

(51) [page 223]. Sur ce passage trouvé par Dureau de la Malle, voy. le *Cosmos*, t. I, p. 251, 252 et 529 (note 9) : « Est autem, dit saint Patricius, et supra firmamentum cœli et *subter* terram ignis atque aqua; et quæ supra terram est aqua, coacta in unum, appellationem marium; quæ vero intra, abyssorum suscepit; ex quibus ad generis humani usus in terram velut siphones quidam emittuntur et scaturiunt. Ex iisdem quoque et thermæ existunt; quarum quæ ab igne absunt longius, provida boni Dei erga nos mente, *frigidiores;* quæ vero *propius* admodum, *ferventes* fluunt. In quibusdam etiam locis et tepidæ aquæ reperiuntur, prout majore ab igne intervallo sunt disjunctæ ». (*Acta primorum Martyrum, opera et studio Theodorici Ruinart, Amstelodami*, 1713, p. 555. D'après une autre relation (*A. S. Mazochii in vetus marmoreum sanctæ Neapolitanæ Ecclesiæ Kalendarium Commentarius*, t. II, Neapoli, 1744, p. 385), saint Patricius développait à peu près la même théorie de la chaleur de la Terre devant Julius Consularis; mais à la fin du discours, *l'enfer froid* est plus clairement désigné : « Nam quæ longius ab igne subterraneo absunt, Dei optimi providentia, frigidiores erumpunt. At quæ propiores igni sunt, ab eo fervefactæ, intolerabili calore præditæ promuntur foras. Sunt et alicubi tepidæ, quippe non parum sed longiuscule ab eo igne remotæ. Atqui ille infernus ignis impiarum est animarum carnificina; non secus ac subterraneus frigidissimus gurges, in glaciei glebas concretus, qui Tartarus nuncupatur. » Le nom arabe *hammâm el-enf* signifie « bains de nez, » et est tiré, comme Temple l'a déjà fait observer, de la forme d'un promontoire voisin, non

pas de l'influence sanitaire que ses eaux thermales exerçaient sur les maladies du nez. Les mots arabes ont été diversement altérés : on en a fait indifféremment *hammam l'Enf* ou *Lif*, *Emmamelif* (Peyssonel); *la Mamelif* (Desfontaines). Comp. Gumprecht, *die Mineralquellen auf dem Festlande von Africa*, 1851, p. 140-144.

(52) [page 223]. Humboldt, *Essai politique sur la Nouvelle Espagne*, 2e édit., t. III, 1827, p. 190.

(53) [page 224]. *Relation historique du voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 98; *Cosmos*, t. I, p. 249 et 250. Les sources chaudes de Carlsbad doivent également leur origine au granite. Voy. Léopold de Buch, dans Poggendorff's *Annalen*, t. XII, p. 416. Il en est exactement de ces sources comme de celles de Momay qui jaillissent près de Changokhang, dans le Tibet, à 15000 pieds au-dessus de la mer, avec une température de 46°, et qu'a visitées Joseph Hooker (*Himalayan Journals*, t. II, p. 133.

(54) [p. 224]. Boussingault, *Considérations sur les Eaux thermales des Cordillères*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. LII, 1833, p. 188-190.

(55) [page 225]. Newbold, *on the temperature of the wells and rivers in India and Egypt*. dans les *Philosoph. Transactions for* 1845, 1re part., p. 127.

(56) [page 227]. Voy. Sartorius von Waltershausen, *Physisch-geographische Skizze von Island, mit besonderer Rucksicht auf vulkanische Erscheinungen*, 1847, p. 128-132: Bunsen et Descloiseaux, dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XXIII, 1846, p. 935; Bunsen, dans les *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. LXII, 1847, p. 27-45. Lottin et Robert avaient déjà trouvé que la température du jet d'eau du Geyser diminue de bas en haut. Une des quarante sources siliceusesqui jaillissent du sol, dans les environs du grand

Geyser et de Strokkr, s'appelle le petit Geyser. Son jet ne s'élève que de 20 à 30 pieds. Le mot *kochbrunnen* (fontaine cuisante) est formé par analogie du mot *geyser*, qui vraisemblablement se rattache au mot islandais *giosa* (cuire). D'après le rapport de Csoma de Kœrœs, il se trouve aussi sur le plateau du Tibet, près du lac alpin Mapham, un geyser, dont le jet est de 12 pieds.

(57) [page 227]. Sur 1000 parties d'eau des sources de Gastein, Trommsdorf ne trouve que 0,303 de résidu; Lœwig n'en trouve, dans celles de Pfeffers, que 0,291; Longchamp, dans celles de Luxeuil, que 0,236; tandis qu'on en trouve dans 1000 parties de l'eau de fontaine ordinaire de Berne, 0,478; dans les eaux jaillissantes de Carlsbad, 5,459, à Wiesbade, jusqu'à 7,454. Voy. Studer, *Physikal. Geographie und Geologie*, 2e édit., 1847, c. I, p. 92.

(58) [page 227]. Les eaux chaudes qui sourdent du *granite* de la Cordillère du littoral de Venezuela sont *presque pures;* elles ne renferment qu'une petite quantité de *silice* en dissolution, et du gaz acide hydrosulfurique, mêlé d'un peu de *gaz azote*. Leur composition est identique avec celle qui résulterait de l'action de l'eau sur le sulfure de silicium (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LII, 1833, p. 189.) Sur la grande quantité d'azote mêlé à la source chaude d'Orense, qui marque 68°, voy. Maria Rubio, *Tratado de las Fuentes minerales de España*, 1853, p. 331.

(59) [page 227]. Sartorius de Waltershausen, *Skizze von Island*, p. 125.

(60) [page 228]. Le savant chimiste Morechini, à Rome, avait évalué à 0,40 l'oxygène contenu dans la source de Nocera, située à 2100 pieds au-dessus de la mer; Gay-Lussac n'en a trouvé exactement, le 26 septembre 1805, que 0,299. Nous avions trouvé, dans les eaux pluviales, 0,31 d'oxygène.

Sur l'azote, mêlé aux eaux acidules de Néris et de Bourbon-l'Archambault, on peut consulter les travaux d'Anglade et de Longchamp (1834); et sur les exhalaisons d'acide carbonique en général, les excellentes recherches de Bischof, dans sa *Chemische Geologie*, t. I, p. 243-350.

(61) [page 229]. Voy. Bunsen, dans Poggendorff's *Annalen*, t. LXXXIII, p. 257; Bischof, *Geologie*, t. I, p. 271.

(62) [page 230]. Voy. l'Examen des Sources sulfureuses d'Aix-la-Chapelle, par Liebig et Bunsen, inséré aux *Annalen der Chemie und Pharmacie* (t. LXXIX, 1851, p. 101). Dans les analyses chimiques de sources minérales, qui contiennent du sulfure de sodium, on accuse souvent du carbonate de soude et de l'hydrogène sulfuré, lorsqu'il s'y trouve en réalité un excédant d'acide carbonique.

(63) [page 230]. Une de ces cascades est représentée dans mes *Vues des Cordillères* (planche XXX). Sur l'analyse des eaux du Rio Vinagre, voy. Boussingault, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. LII, 1833, p. 397, et Dumas, *ibid.*, 3e série, t. XVIII, 1846, p. 503. On trouvera des détails sur la source qui sort du Paramo de Ruiz, dans Joaquin Acosta, *Viajes cientificos á los Andes ecuatoriales*, 1849, p. 89.

(64) [page 231]. Les exemples de changements de température survenus dans les thermes de Mariara et de las Trincheras conduisent à la question de savoir si les eaux du Styx, dont la source presque inaccessible est cachée en Arcadie, dans la contrée sauvage des monts Aroaniens, près de Nonakris, sur le territoire de Pheneos, n'ont pas perdu de leur propriété nuisible par des changements survenus dans les crevasses souterraines qui leur servaient de conduits, ou bien si elles n'étaient funestes aux voyageurs que de temps à autre, en raison de leur froid glacial. Peut-être ne doivent-elles leur mauvaise réputation, conservée jusque chez les habitants actuels de

l'Arcadie, qu'à l'effroyable solitude du pays, et au mythe d'après lequel elles tiraient leur origine du Tartare. Un jeune et savant philologue, Théodore Schwab, est parvenu avec beaucoup de peine, il y a quelques années, jusqu'au rocher à pic d'où la source tombe goutte à goutte, absolument comme la représentent Homère, Hésiode et Hérodote. Il a bu de cette eau excessivement froide, mais très-pure au goût, sans en avoir ressenti le moindre malaise. Voy. Schwab, *Arkadien, seine Natur und Geschichte*, 1852, p. 15-20. On assurait, dans l'antiquité, que le froid des eaux du Styx fendait tous les vases, et qu'elles ne pouvaient être contenues que dans des sabots d'âne. Il est certain que les légendes du Styx remontent à une haute antiquité; mais le bruit de ses qualités vénéneuses ne paraît avoir été généralement répandu qu'au temps d'Aristote. D'après le témoignage d'Antigone de Caryste (*Hist. Mirab.*, § 174), elles auraient été décrites en détail dans un livre de Théophraste, qui n'est pas venu jusqu'à nous. Plutarque et Arrien ont réfuté cette calomnie d'un empoisonnement d'Alexandre avec de l'eau du Styx, qu'Aristote aurait fait parvenir à Cassandre par l'intermédiaire d'Antipater, fable répandue par Vitruve, Justin et Quinte-Curce, sans cependant que le Stagirite soit nommé. Voy. Stahr, *Aristotelia*, 1re part., 1830, p. 137-140. Pline (l. XXX, c. 53) dit en termes un peu ambigus : « Magna Aristotelis infamia excogitatum. » Comp. Ernst Curtius, *Peloponnesos*, 1851, t. I, p. 194-196 et 212; Saint-Croix, *Examen critique des anciens historiens d'Alexandre*, p. 496. L'ouvrage de Fiedler (*Reise durch Griechenland*, t. I, p. 400) contient un dessin représentant la chute du Styx, vue à distance.

(65) [p. 232]. « Des gîtes métallifères très-importants, les plus nombreux peut-être, paraissent s'être formés par voie de dissolution, et les filons concrétionnés n'être autre chose que d'immenses canaux plus ou moins obstrués, parcourus autrefois par des eaux thermales incrustantes. La formation d'un

grand nombre de minéraux qu'on rencontre dans ces gîtes, ne suppose pas toujours des conditions ou des agents très-éloignés des *causes actuelles*. Les deux éléments principaux des sources thermales les plus répandues, les sulfures et les carbonates alcalins, m'ont suffi pour reproduire artificiellement, par des moyens de synthèse très-simples, vingt-neuf espèces minérales distinctes, presque toutes cristallisées, appartenant aux métaux natifs (argent, cuivre et arsenic natifs); au quartz, au fer oligiste, aux fer, nickel, zinc et manganèse carbonatés; au sulfate de baryte, à la pyrite, malachite, pyrite cuivreuse; au cuivre sulfuré, à l'argent rouge, arsenical et antimonial... On se rapproche le plus possible des procédés de la nature, si l'on arrive à reproduire les minéraux dans leurs conditions d'association possible, au moyen des agents chimiques naturels les plus répandus, et en imitant les phénomènes que nous voyons encore se réaliser dans les foyers où la création minérale a concentré les restes de cette activité, qu'elle déployait autrefois avec une tout autre énergie. » (H. de Senarmont, *sur la formation des minéraux par la voie humide*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXII, 1851, p. 234). Voy. aussi Élie de Beaumont, *sur les émanations volcaniques et métallifères*, dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XV, p. 129.

(66) [page 232]. Pour déterminer la différence entre la température moyenne des sources et celle de l'air, le docteur Édouard Hallmann a observé à Marienberg, près de Boppard, sur le Rhin, la température de l'air, la hauteur des pluies et la température de sept sources différentes. Ses observations, prolongées pendant cinq années, du 1er décembre 1845 au 30 novembre 1850, sont devenues la base d'un nouveau travail sur les rapports thermométriques des sources. « Les sources dont la température est absolument constante, c'est-à-dire les sources purement géologiques, ne sont pas comprises dans ce travail; mais il embrasse toutes

celles qui subissent un changement de température dans le cours de l'année.

Les sources à température variable se divisent en deux groupes naturels :

I. Les sources purement météorologiques, c'est-à-dire celles dont on peut prouver que la température moyenne n'est pas augmentée par la chaleur de la Terre. La différence de la température moyenne de ces sources avec celle de l'air dépend de la manière dont les pluies annuelles sont réparties dans les douze mois. Si la pluie qui tombe durant les quatre mois froids, depuis décembre jusqu'à mars, dépasse un tiers (33 1/3 pour 100) de la quantité de pluie annuelle, la température moyenne des sources météorologiques est moins élevée que celle de l'air. Si au contraire il tombe dans les quatre mois chauds, de juillet à octobre, plus d'un tiers de la pluie annuelle, la température moyenne de ces sources sera supérieure à celle de l'air. La différence en plus ou en moins entre la moyenne des sources et celle de l'air sera d'autant plus grande que l'excédant de pluie sera plus considérable dans les quatre mois de chaleur ou dans les quatre mois de froid. On appelle sources météorologiques à *moyenne exacte* les sources dont la température moyenne, comparée à celle de l'air, donne une différence normale, c'est-à-dire la plus grande possible, d'après la quantité de pluie annuelle; celles au contraire pour lesquelles cette différence est amoindrie par l'influence perturbatrice de la température atmosphérique, pendant les parties de l'année qui s'écoulent sans pluie, s'appellent des sources purement météorologiques à *moyenne rapprochée*. Ce qui rapproche la moyenne des sources de celle de l'air, c'est l'opération même par laquelle on mesure la température des eaux à l'extrémité du conduit qui les amène, ou bien c'est l'espace qu'elles parcourent à la surface de la terre et la maigreur de leurs filets. La différence entre la température moyenne des sources et celle de l'air est la même dans le cours d'une année pour toutes les sources purement météoro-

logiques, mais elle est plus petite pour les sources à moyenne rapprochée que pour les sources à moyenne exacte; elle est d'autant plus petite que l'influence perturbatrice de la chaleur atmosphérique a été plus considérable. Parmi les sources de Marienberg, quatre appartiennent au groupe des sources purement météorologiques : une d'elles a une moyenne exacte; les trois autres ont des moyennes rapprochées à différents degrés. Pendant la première année des observations, il y eut excédant de pluie dans le tiers froid de l'année, et les quatre sources furent en moyenne plus froides que l'air. Au contraire, dans les quatre années qui suivirent, les pluies furent relativement plus abondantes dans le tiers le plus chaud de l'année, et les moyennes annuelles des quatre sources se sont trouvées plus élevées que celle de l'air. La différence en plus était d'autant plus grande que l'excédant des pluies était plus considérable.

La justesse de cette opinion, émise par Léopold de Buch en 1825, que la différence entre la moyenne des sources et celle de l'air dépend de la distribution des pluies dans le cours de l'année, a été démontrée par les observations de Hallmann, du moins par celles qu'il a faites à Marienberg dans le grauwacke du Rhin. Les sources purement météorologiques à moyenne exacte ont seules de la valeur pour la climatologie scientifique. Il est intéressant de rechercher ces sources partout, et de les distinguer, d'un côté, des sources purement météorologiques à moyenne rapprochée; de l'autre, des sources météorologico-géologiques.

II. Sources météorologico-géologiques, c'est-à-dire sources dans la température desquelles on peut retrouver l'influence produite par la chaleur de la Terre. La moyenne annuelle de ces sources est toujours plus élevée que celle de l'air, quelle que soit la distribution des pluies. Les changements de température qu'elles subissent dans le cours d'une année sont causés par le sol qu'elles traversent. La quantité dont la moyenne d'une source météorologico-géologique dépasse la

moyenne de l'air dépend de la profondeur à laquelle sont descendues les eaux météorologiques dans l'intérieur toujours tempéré de la terre, avant de réapparaître sous forme de source. Cette différence n'a, par conséquent, aucun intérêt climatologique. Il est cependant important pour le météorologiste de connaître ces sources, afin de ne pas les confondre avec des sources purement météorologiques. La température des sources météorologico-géologiques peut aussi être rapprochée de la moyenne de l'air par les conduits qui les portent au point où leur chaleur est mesurée. Les sources ont été examinées à jours fixes, quatre ou cinq fois par mois, et on a soigneusement pris en considération la hauteur au-dessus de la mer de l'endroit où l'on mesurait la température atmosphérique, et la hauteur de chacune des sources. »

Après avoir comparé et discuté ses observations sur les sources de Marienberg, le docteur Hallmann est allé passer l'hiver de 1852 à 1853 en Italie, où il a trouvé dans les Apennins, à côté de sources ordinaires, des sources d'un froid anormal. Il appelle ainsi les sources qui amènent manifestement le froid de points plus élevés. Ces sources peuvent être envisagées comme des écoulements souterrains de lacs situés sur des hauteurs et exposés à l'air libre, ou bien des amas d'eau souterrains qui se précipitent en masse, et avec une extrême vitesse, à travers les fissures et les crevasses, pour sortir violemment sous forme de source du pied des montagnes. Il faut donc entendre par des sources d'un froid anormal, des sources trop froides pour la hauteur à laquelle elles se font jour, ou, si l'on veut préciser davantage ces sortes de rapports, des sources qui sortent d'un endroit de la montagne trop peu élevé, eu égard à leur basse température. Ces vues, exprimées dans le 1er volume de l'ouvrage de Hallmann, intitulé : *Temperaturverhältnisse der Quellen,* ont été modifiées par l'auteur dans le 2e volume, p. 181-183, parce que toutes les sources météorologiques, si rapprochées qu'elles soient de la surface de la terre, contiennent une partie de chaleur terrestre.

(67) [page 235]. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 58. Sur la probabilité de cette conjecture que le Caucase, qui, pour les cinq septièmes de sa longueur, court entre le Kasbegh et l'Elburuz, de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest, sous le parallèle moyen de 42° 50, est la continuation de la faille volcanique de l'Asfera (Aktagh), et du Thian-schan, voy. *ibid.*, p. 54-61. Les deux chaînes de l'Asferah et du Thian-schan oscillent entre les parallèles de 40° 60′ et 43°. La grande dépression aralo-caspienne, dont la superficie, d'après les calculs précis de Struve, dépasse de 1680 milles géographiques carrés l'aire de la France entière (*ibid.*, p. 309-312), est, à mon sens, plus ancienne que les soulèvements de l'Altaï et du Thian-schan. La faille de soulèvement de cette dernière chaîne de montagnes ne s'est pas prolongée à travers cette vaste dépression. On ne la retrouve qu'à l'ouest de la mer Caspienne, avec quelque changement de direction et sous le nom de chaîne du Caucase, mais avec tous les mêmes phénomènes volcaniques et trachytiques. Cette connexion géognostique a été reconnue par Abich et confirmée à l'aide d'observations très-importantes. Dans un travail sur la liaison du Thian-schan et du Caucase, que je tiens de ce grand géognoste, il est dit expressément : « La fréquence et la prédominance décidée d'un système de lignes parallèles de dislocation et de soulèvement, répandu sur toute la contrée comprise entre le Pont-Euxin et la mer Caspienne, à peu près dans la direction de l'Est à l'Ouest, détermine de la façon la plus frappante l'axe moyen des grandes chaînes latitudinales de l'Asie centrale, entre les systèmes du Kosyurt et du Bolor et l'isthme Caucasien. Le Caucase, dont la direction moyenne est du Sud-Est au Nord-Est, passe, dans la partie centrale de la chaîne, de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest; quelquefois même il prend franchement la direction de l'Est à l'Ouest, comme le Thian-schan. Les lignes de soulèvement qui unissent l'Ararat aux montagues trachytiques de Dzerlydagh et de Kargabassar, près d'Erzeroum, et dont

les parties méridionales portent l'Argaeus, le Sepandagh et le Sabalan disposés sur un même parallèle, affirment de la manière la plus formelle l'existence d'un axe volcanique moyen, c'est-à-dire le prolongement occidental du Thian-schan par le Caucase. Beaucoup d'autres chaînes de montagnes, qui partent de l'Asie centrale, se réunissent dans cette remarquable contrée, et confondant leurs masses, forment de puissants nœuds de montagne et des maxima de soulèvements terrestres.

Pline dit (l. VI, c. 17) : « Persæ appellavere Caucasum montem Graucasim (var. Graucasum, Groucasim, Grocasum) hoc est nive candidum. » Dans ce nom, Bohlen croyait reconnaître les mots sanscrits *kâs*, briller, et *gravan*, rocher (comp. mon *Asie centrale*, t. I, p. 109). Si le nom *Caucasus* est en effet une altération de *Graucasus*, il se pourrait, comme le dit Clausen dans ses recherches sur les voyages d'Io (*Rheinisches Museum fur Philologie*, 3e année, 1845, p. 298), que ce nom, dont chacune des deux premières syllabes rappelait aux Grecs l'idée de *brûler*, signifiât un *mont brûlant*, auquel se serait rattachée naturellement et comme d'elle-même, la poétique légende de l'*allumeur* ou *inventeur du feu* (πυρκαεύς). On ne saurait nier que plusieurs mythes doivent leur origine à un nom; mais on ne peut pas faire dériver un mythe aussi grand et aussi important que celui du Typhon Caucasien d'une ressemblance accidentelle de son avec un nom mal compris. Il y a des arguments plus sérieux, dont un est mentionné aussi par Clausen. Il résulte du rapprochement de Typhon et du Caucase, et du témoignage formel de Phérécydes de Syros, qui vivait au temps de la LVIIIe olympiade, que *l'extrémité orientale du monde passait pour être une montagne volcanique.* D'après le scholiaste d'Apollonius de Rhodes (*Scholiæ in Apollonium*, ed. Schaefferi, 1813, v. 1210, p. 524.) Phérécydes disait, dans sa *Théogonie*, « que Typhon poursuivi se sauva sur le Caucase, que la montagne s'enflamma, et que Typhon se réfugia de là en Italie, où l'île Pithecusa fut jetée et

pour ainsi dire coulée autour de lui. » L'île Pithecusa n'est autre que l'île Aenaria, aujourd'hui Ischia, dans laquelle l'Epomeus (Epopon) rejeta des flammes et de la lave, 95 ans avant notre ère, d'après Julius Obsequens, et plus tard, sous Titus et sous Dioclétien, enfin, d'après le témoignage précis de Tolomeo Fiadoni de Lucca, alors prieur de Santa Maria Novella, en l'an 1302. Un profond connaisseur de l'antiquité, Boeckh, m'écrit : « Il est étrange que Phérécydes représente Typhon fuyant le Caucase parce qu'il brûlait, lorsque lui-même est l'auteur de l'embrasement. Mais il me paraît incontestable, à moi aussi, que son séjour dans le Caucase est un souvenir des éruptions volcaniques de cette montagne ». Apollonius de Rhodes, à l'endroit où il raconte la naissance du dragon de Colchos (*Argonautica*, l. II, v. 1212-1217, ed. Beck), place également dans le Caucase *le rocher de Typhon*, sur lequel ce géant fut frappé de la foudre par Jupiter, fils de Kronos. Il se peut que les torrents de lave et les cratères-lacs du plateau de Kely, les éruptions de l'Ararat et de l'Elburuz, ou les courants de pierre ponce et d'obsidienne, sortis des vieux cratères du Riotandagh, tombent dans les temps antéhistoriques; mais les flammes qui, aujourd'hui encore, sortent par centaines à travers les crevasses du Caucase, sur des montagnes hautes de 7 000 à 8 000 pieds, aussi bien que dans de vastes plaines, ont pu très-bien faire prendre la région montagneuse du Caucase pour un *foyer typhonique.*

(68) [page 237]. Humboldt, *Asie centrale,* t. II, p. 511 et 513. J'ai déjà fait remarquer (t. II, p. 201) qu'Edrisi ne parle pas des feux de Baku; puisque déjà deux cents ans avant lui, au xe siècle, Massudi Cothbeddin les décrit avec beaucoup de détails comme un pays de *Nefala,* c'est-à-dire riche en fontaines de naphte brûlantes. Voy. Fraehn, *Ibn Fozlan,* p. 245; et, sur l'étymologie du mot médique *Naphta*, le *Journal asiatique*, t. XIII, p. 124.

(69) [page 237]. Comp. Maurice d'Engelhardt et Frédéric Parrot, *Reise in die Krym und den Kaukasus*, 1815, 1re part., p. 11, avec Gœbel. *Reise in die steppen der sudlichen Russlands*, 1838, 1re part., p. 249-253; 2e part., p. 138-144.

(70) [page 238]. Payen, *de l'acide borique des Suffioni de la Toscane*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. I, 1841, p. 247-255; Bischof, *Chemische und physikalische Geologie*, t. I, p. 669-691; *Établissements industriels pour l'extraction de l'acide borique en Toscane*, par le comte de Larderel, p. 8.

(71) [page 239]. Sir Roderik Impey Murchison, *on the vents of hot Vapour in Tuscany*, 1850, p. 7. Voy. aussi, dans le Recueil de Karsten et de Dechen, *Archiv für Mineralogie* (t. XIII, 1839, p. 19), les observations géognostiques d'Hoffmann antérieures aux travaux de Murchison. Targioni Tozzetti affirme, d'après des traditions anciennes mais dignes de foi, que quelques-unes de ces sources boraciques, qui n'ont pas cessé de jaillir, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, avaient été vues jadis, pendant la nuit, brillantes, c'est-à-dire enflammées. Afin d'augmenter l'intérêt géognostique pour les réflexions de Murchison et de Pareto sur la nature volcaniqne des formations de serpentine en Italie, je rappellerai que dans l'Asie Mineure, près la ville de Deliktasch, l'ancienne Phaselis, sur la côte occidentale du golfe d'Adalia, la flamme de la Chimère qui brûle depuis plusieurs milliers d'années, s'élève également d'une colline située sur le versant du Solimandagh, où l'on a trouvé des serpentines *in situ* et des blocs de calcaire. Un peu plus au Sud, dans la petite île de Grambusa, on voit le calcaire superposé à la serpentine de couleur sombre. Voy. le travail riche en matériaux de l'amiral Beaufort (*Survey of the coasts of Karamania*, 1818, p. 40 et 48), dont les résultats ont été pleinement confirmés par les roches qu'a rapportées, au mois de mai 1854, un artiste heureusement doué, Albert Berg. Voy. Pierre de Tchihatcheff, *Asie Mineure*, 1853, t. I, p. 407.

(72) [page 239]. Bischof, *Chemische und physikalische Geologie*, p. 682.

(73) [p. 239]. Sartorius de Waltershausen, *Physisch-geographische Skizze von Island*, 1847, p. 123; Bunsen, *ueber die Processe der vulkanischen Gesteinsbildungen Islands*, dans Poggendorff's *Annalen*, t. LXXXIII, p. 257.

(74) [page 239]. Waltershausen, *ibid.*, p. 118.

(75) [page 242]. Humboldt et Gay-Lussac, *Mémoire sur l'analyse de l'air atmosphérique*, dans le *Journal de Physique* publié par Lamétherie, t. LX, an XIII, p. 151 (réimprimé dans les *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 372).

(76) [page 242]. « C'est avec émotion que je viens de visiter un lieu que vous avez fait connaître il y a cinquante ans. L'aspect des petits volcans de Turbaco est tel que vous l'avez décrit : c'est le même luxe de la végétation, le même nombre et la même forme des cônes d'argile, la même éjection de matière liquide et boueuse; rien n'est changé, si ce n'est la nature du gaz qui se dégage. J'avais avec moi, d'après les conseils de notre ami commun, M. Boussingault, tout ce qu'il fallait pour l'analyse chimique des émanations gazeuses, même pour faire un mélange frigorifique dans le but de condenser la vapeur d'eau, puisqu'on m'avait exprimé le doute, qu'avec cette vapeur on avait pu confondre l'azote. Mais cet appareil n'a été aucunement nécessaire. Dès mon arrivée aux *Volcancitos* l'odeur prononcée de bitume m'a mis sur la voie, et j'ai commencé par allumer le gaz sur l'orifice même de chaque petit cratère. On aperçoit même aujourd'hui à la surface du liquide qui s'élève par intermittence, une mince pellicule de pétrole. Le gaz recueilli *brûle tout entier* sans résidu d'azote (?) et sans déposer *du soufre* (au contact de l'atmosphère). Ainsi, la *nature du phénomène a complétement changé depuis votre voyage, à moins d'admettre une erreur*

d'observation, justifiée par l'état moins avancé de la chimie expérimentale à cette époque. Je ne doute plus maintenant que la grande éruption de *Galera Zamba*, qui a éclairé le pays dans un rayon de 100 kilomètres, ne soit un *phénomène de Salses*, développé sur une grande échelle, puisqu'il y existe des centaines de petits cônes, vomissant de l'argile salée, sur une surface de plus de 400 lieues carrées. Je me propose d'examiner les produits gazeux des cônes de Tubarâ, qui sont les salses les plus éloignées de vos *Volcancitos* de Turbaco. D'après les manifestations si puissantes qui ont fait disparaître une partie de la péninsule de Galera Zamba, devenue une île, et après l'apparition d'une nouvelle île, soulevée du fond de la mer voisine en 1848 et disparue de nouveau, je suis porté à croire que c'est près de Galera Zamba, à l'ouest du delta du Rio-Magdalena, que se trouve le principal foyer du phénomène des salses de la province de Carthagène.» (Extrait d'une lettre que m'a écrite, de Turbaco, le colonel Acosta, le 21 décembre 1850.) — Comp. aussi Mosquera, *Memoria politica sobre la Nueva Granada*, 1852, p. 73, et Lionel Gisborne, *the Isthmus of Darien*, p. 48.

(77) [page 242]. Pendant toute la durée de mon expédition en Amérique, j'ai suivi religieusement le conseil de Vauquelin, sous lequel j'ai travaillé quelque temps avant de partir pour mes voyages, à savoir : d'écrire le jour même et de conserver le détail de chaque expérience. J'extrais ce qui suit de mon Journal, à la date du 17 et du 18 avril 1801 : «Puisque le gaz traité avec du phosphore et du gaz nitreux n'a donné tout au plus que 1 pour 100 d'oxygène, et n'a pas donné avec de l'eau de chaux 2 pour 100 d'acide carbonique, je me demande ce que sont les 97 autres parties. Je supposais d'abord que c'était de l'hydrogène carboné et de l'hydrogène sulfuré; mais il ne se dépose pas de soufre, au contact de l'atmosphère, sur les petits bords du cratère, et l'odorat ne révélait aucune trace d'hydrogène sulfuré. On pouvait croire que cette partie inconnue était

de l'azote pur, parce que, comme il est dit plus haut, *une bougie allumée ne causait pas d'inflammation*. Mais les analyses que j'ai faites jadis des feux grisous m'ont appris que de l'hydrogène léger et pur de tout acide carbonique, qui se trouvait dans la partie supérieure d'une galerie, bien loin de s'allumer, éteignait la chandelle du mineur, tandis que cette chandelle jetait une lumière claire dans les parties basses, où l'air se trouvait chargé d'une partie considérable d'azote. On en peut donc conclure que le reste du gaz des Volcancitos est de *l'azote*, avec *une certaine quantité d'hydrogène*, que nous ne pouvons jusqu'à présent déterminer. Existerait-il donc au-dessous des Volcancitos le même schiste bitumineux que j'ai vu plus à l'Ouest, sur les bords du Rio Sinu? ou bien s'y trouve-t-il de la marne et de l'alumine? L'air peut-il pénétrer par d'étroites crevasses dans des cavernes formées par les eaux, et se décomposer par le contact avec de la terre glaise d'un gris noir, comme dans les mines creusées au milieu de l'argile bitumineuse de Hallein et de Berchtholdsgaden, où les excavations se remplissent de gaz qui éteignent la lumière? Ou bien, enfin, la tension des gaz élastiques qui sortent avec impétuosité fermeraient-ils l'accès à l'air atmosphérique? » Telles sont les questions que je me posais à Turbaco, il y a cinquante-trois ans. D'après les dernières observations de M. Vauvert de Méan (1854), le gaz qui s'échappe a complétement conservé sa propriété inflammable. Le voyageur a apporté des échantillons de l'eau qui remplit les petits cratères des Volcancitos. Boussingault y a trouvé, sur un litre, 6 grammes 59/100 de sel ordinaire, 0,31 de carbonate de soude, 0,20 de sulfate de soude. L'analyse a révélé aussi des traces de borate de soude et d'iode. Après un examen au microscope de la boue rejetée par le volcan, Ehrenberg n'y a trouvé aucune parcelle de chaux ni aucune scorification, mais des grains de quartz mêlés de petites feuilles de mica et beaucoup de petits prismes cristallisés d'augite noire, comme il s'en trouve souvent dans le tuf volcanique. Il n'y avait d'ailleurs aucun vestige d'éponges siliceuses ou

d'infusoires polygastriques, rien qui annonçât la proximité de la mer; mais beaucoup de restes de dicotylédonées, d'herbes et de sporanges de lichens, qui rappelaient les parties constitutives de la Moya de Pelileo. Ch. Sainte-Claire Deville et George Bornemann, dans leurs belles analyses de la *Macalube di Terrapilata* ont trouvé que le gaz rejeté au dehors contenait 0,99 d'hydrogène carboné; tandis que celui qui s'élève dans l'*Agua Santa di Limosina*, près de Catane, a fourni, comme autrefois Turbaco, 0,98 d'azote, sans aucune trace d'oxygène. Voy. les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XLIII, 1856, p. 361 et 366.

(78) [page 243]. Humboldt, *Vues des Cordillères et Monuments des peuples indigènes de l'Amérique*, pl. XLI, p. 239. Le beau dessin des Volcancitos de Turbaco, qui a servi de modèle à la gravure, est de la main de mon compagnon de voyage Louis de Rieux. Sur l'ancien Taruaco des premiers temps de la *Conquista* espagnole, voy. Herrera Dec., I, p. 251.

(79) [page 245]. Lettre de M. Joaquin Acosta à M. Élie de Beaumont, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXIX, 1849, p. 530-534.

(80) [page 246]. Dans l'*Asie centrale* (t. II, p. 519-540), le plus souvent d'après des extraits d'ouvrages chinois faits par Klaproth et Stanislas Julien. L'ancienne méthode chinoise de forage au moyen d'une corde, qui a été mise en pratique plusieurs fois de 1830 à 1842, et quelquefois avec succès, dans les houillères de la Belgique et de l'Allemagne, a été déjà décrite au XVII[e] siècle, dans la Relation de l'ambassadeur hollandais van Hoorn, ainsi que l'a fait voir Jobard. Le missionnaire français Imbert, qui a résidé tant d'années à Kia-tingfou, est cependant celui qui a donné les détails les plus précis sur cette méthode de forage appliquée aux fontaines de feu (Ho-

tsing). Voy. les *Annales de l'Association de la Propagation de la foi,* 1829, p. 369-381.

(81) [page 247]. D'après l'analyse de Diard (voy. *Asie centrale,* t. II, p. 515). Outre les volcans boueux de Damak et de Surabaya, on trouve dans d'autres îles de l'archipel indien ceux de Pulu-Semao, de Pulu-Kantbing et de Pulu-Roti. Voy. Junghuhn, *Java, seine Gestalt und Pflanzendecke,* 1852, 3e part., p. 830.

(82) [page 248]. Junghuhn, *ibid.,* 1re part., p. 201; 3e part., p. 854-858. Les grottes du Chien de l'île Java, qui produisent un effet plus faible, sont désignées sous les noms de *Gua-Upas* et de *Gua-Galan*. *Gua* est le mot sanscrit *guhâ*, qui signifie *grotte.* Il ne peut y avoir de doute sur l'identité de la *grotta del Cane,* voisine du *lago di Agnano,* avec celle que Pline (l. II, c. 93) a décrite, il y a près de dix-huit siècles : «In agro Puteolano, Charonea scrobis mortiferum spiritum exhalans. » On peut donc s'étonner avec Scacchi (*Memorie geolog. sulla Campania,* 1849, p. 48) qu'un phénomène aussi minime que le dépôt renouvelé d'une faible quantité de gaz carbonique ait pu se maintenir sans changement et sans trouble dans un terrain meuble, si souvent remué par des tremblements de terre.

(83) [page 248]. Blume, *Rumphia sive Commentationes botanicæ,* t. I, 1835, p. 47-59.

(84) [page 249]. Humboldt, *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères,* 1823, p. 76; Boussingault, dans les *Annales de Chimie et de Physique,* t. LII, 1833, p.11.

(85) [page 250]. Voy. sur la hauteur d'Alausi, dans le Cerro Cuello, près de Ticsan, mes *Observations astronomiques*, t. I, p. 311 (nivellement barométrique, n° 206).

(86) [page 250]. « L'existence d'une *source de naphte* sortant au fond de la mer d'un micaschiste grenatifère, et répan-

dant, selon l'expression d'un historien de la Conquista, Oviedo, une liqueur résineuse, aromatique et médicinale, est un fait extrêmement remarquable. Toutes celles que l'on connaît jusqu'ici appartiennent aux montagnes secondaires, et ce mode de gisement semblait favoriser l'idée que tous les bitumes minéraux étaient dus à la destruction des matières végétales et animales, ou à l'embrasement des houilles (voy. Hatchett, dans les *Transact. of the Linnaean Society*, 1789, p. 129). Le phénomène du golfe de Cariaco acquiert une nouvelle importance, si l'on se rappelle que le même terrain dit primitif renferme des feux souterrains ; que, sur le bord des cratères enflammés, l'*odeur de pétrole* se fait sentir de temps en temps (par ex. dans l'éruption du Vésuve, en 1805, lorsque le volcan lançait des scories), et que la plupart des sources très-chaudes de l'Amérique méridionale sortent du granite (las Trincheras, près de Portocabello), du gneiss et du schiste micacé. Plus à l'est du méridien de Cumana, en descendant de la Sierra de Meapire, on rencontre d'abord le terrain creux (tierra hueca) qui, pendant les grands tremblements de terre de 1766, a jeté de l'asphalte enveloppé dans du pétrole visqueux ; et puis au delà de ce terrain, une infinité de sources chaudes hydrosulfureuses. » (Humboldt, *Relation historique du voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 136, 344, 347 et 447.)

(87) [page 255]. *Cosmos*, t. I, p. 266.

(88) [page 256]. Strabon, l. I, p. 58, édit. de Casaubon. L'épithète διάπυρος prouve qu'il ne s'agit pas ici de volcans de boue. A l'endroit où Platon fait allusion à ces volcans, dans ses fantaisies géognostiques, mélangées de mythes et d'observations réelles, il dit expressément, par opposition au phénomène que Strabon a décrit, ὑγροῦ πηλοῦ ποταμοί. J'ai parlé ailleurs des mots πηλός et ῥύαξ appliqués aux éruptions volcaniques (*Cosmos*, t. I, p. 528, note 25). Je me bornerai à rappeler ici un autre passage de Strabon (l. VI, p. 269), où il caractérise de

la façon la plus claire la lave qui se durcit, par les expressions de πηλὸς μέλας. On lit dans sa description de l'Etna : « Le torrent enflammé (ῥύαξ), en se solidifiant, pétrifie la surface de la Terre jusqu'à une profondeur assez considérable pour que celui qui voudrait la mettre à nu ait à faire un travail de carrier. Puisque les roches sont fondues dans les cratères avant d'en être expulsées, il est naturel que la matière en fusion qui s'échappe du sommet et coule le long de la montagne soit une masse noire et pâteuse (πηλός) qui, en durcissant, devient une pierre meulière et garde sa couleur primitive. »

(89) [page 256]. *Cosmos*, t. I, p. 530 (note 28).

(90) [page 257]. Leop. de Buch, *ueber basaltische Inseln und Erhebungskrater*, dans les *Abhandlungen der Kœnigl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, années 1818 et 1819, p. 51. Voy. aussi du même : *Physicalische Beschreibung der Canarischen Inseln*, 1825, p. 213, 262, 284, 313, 323 et 341. Cet ouvrage qui a marqué dans l'histoire de la connaissance des phénomènes volcaniques, est le fruit du voyage que de Buch a fait à Madère et à Ténériffe, depuis le commencement d'avril jusqu'à la fin d'octobre 1815; mais Naumann, dans son *Lehrbuch der Geognosie*, rappelle avec raison que la théorie des *cratères de soulèvement* et la différence essentielle qui les distingue des volcans proprement dits ont été déjà énoncées dans des lettres écrites d'Auvergne en 1802 par Leop. de Buch, à l'occasion de la description du Mont-Dore (*Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien*, t. II, p. 282). Les Açores font aux trois cratères de soulèvement des îles Canaries, Gran Canaria, Ténériffe et Palma, un pendant qui fournit la matière de comparaisons très-instructives. Les excellentes cartes du capitaine Vidal, dont nous devons la publication à l'Amirauté anglaise, font comprendre la singulière constitution géologique de ces îles. Dans l'île de San Miguel est située l'immense *Caldeira das sete Cidades*, cratère de soulèvement qui renferme, à une hauteur de 812 pieds, deux

lacs : la *Lagoa grande* et la *Lagoa azul*, et qui s'est formé presque sous les yeux de Cabral èn 1444. La *Caldeira de Corvo*, dont la partie située hors de l'eau a 1200 pieds de hauteur, est presque égale en circonférence à la *Caldeira das sete Cidades*. Les cratères de soulèvement de Fayal et de Terceira ont une hauteur presque triple. A la même classe de phénomènes éruptifs appartiennent les innombrables soulèvements que l'on a vu apparaître, pour quelques jours seulement, en 1691, autour de l'île de S.-Jorge; en 1757, autour de celle de San Miguel. Nous avons déjà mentionné (*Cosmos*, t. I, p. 276) le gonflement périodique du lit de la mer, qui, à un mille géographique environ vers l'ouest de la *Caldeira das sete Cidades*, a fait surgir l'île plus considérable et moins éphémère de Sabrina. On peut consulter, sur le cratère de soulèvement de l'Astruni, dans les champs Phlegréens, et sur la masse trachytique soulevée au centre de ce cratère, comme une colline en forme de cloche fermée, L. de Buch, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXXVII, p. 171 et 182. Rocca Monfina est un beau cratère de soulèvement, dont Abich a donné la mesure et le dessin (voy. *Geologische Beobachtungen über die vulkanischen Erscheinungen in Unter und Mittel-Italien*, 1841, t. 1, p. 113, pl. II).

(91) [page 259]. Sartorius und Waltershausen, *Physisch-geographische Skizze von Island*, 1847, p. 107.

(92) [page 260]. *Cosmos*, t. I, p. 531.

(93) [page 260]. On a beaucoup agité la question de savoir à quelle localité de la plaine de Trézène ou de la presqu'île de Methone se rattache la description du poëte romain. Mon ami Louis Ross, qui a acquis par de nombreux voyages une connaissance si approfondie de la géographie ancienne et de toute l'antiquité grecque, croit que les environs de Trézène ne présentent aucune localité analogue à la colline en forme de vessie, et qu'Ovide a placé dans cette plaine par une licence

poétique le phénomène qu'il décrit d'ailleurs avec tant de vérité. Louis Ross m'écrivait, à la date de novembre 1845 : « Au sud de la presqu'île de Methana et à l'est de la plaine de Trézène, se trouve l'île Kalauria, où Démosthène, poursuivi par les Macédoniens, se réfugia dans le temple de Neptune, et se donna la mort. La montagne calcaire de Kalauria est séparée de la côte par un étroit bras de mer (πόρος), d'où la ville et l'île ont tiré leur nom moderne. Au milieu du détroit se trouve une petite île conique, dont la forme est assez semblable à celle d'un œuf coupé en deux dans sa longueur, et qui est reliée à Kalauria par une digue basse, faite peut-être de main d'homme. Cette île est essentiellement d'origine volcanique, et se compose de trachyte d'un jaune gris et d'un rouge jaunâtre, mêlé de lave et de scories, presque sans trace de végétation. Dans cette île est située la ville moderne de Poros, sur l'emplacement de l'ancienne Kalauria. La formation de l'île est tout à fait analogue à celle des îles volcaniques d'origine plus récente, situées dans le golfe de Thera, aujourd'hui Santorin. Ovide, dans sa poétique description, a probablement imité un modèle grec ou reproduit une ancienne légende. » Virlet, membre de l'Expédition scientifique française, a émis l'opinion que ce soulèvement volcanique n'était autre chose qu'un accroissement postérieur qui aurait grossi la masse trachytique de la presqu'île de Methana. Cet accroissement se trouverait à l'extrémité Nord-Ouest de la presqu'île, à l'endroit où la pierre noire et calcinée, nommée Kammeni-petra, et semblable aux Kammeni qui se trouvent près de Santorin, trahit une origine plus récente. Pausanias nous a transmis la légende des habitants de Methana, d'après laquelle des flammes seraient sorties de la terre sur la côte septentrionale, avant l'apparition des eaux thermales sulfureuses dont la célébrité s'est conservée jusqu'à nos jours. Voy. Curtius, *Peloponnesos*, t. I, p. 42 et 56. Sur le parfum, impossible à définir, qui, à Santorin, succéda, dans le mois de septembre 1650, à l'odeur désagréable du soufre, voy. Ross, *Reisen auf den griech. Inseln des Ægæischen*

Meeres, t. I, p. 196. On peut aussi consulter, sur l'odeur de naphte qu'exhalaient les vapeurs de la lave dans l'île d'Umnak, soulevée en 1796 au milieu des îles Aléoutiennes, Kotzebue, *Entdeckungs-Reise*, t. II, p. 106, et Leop. de Buch, *Description physique des îles Canaries*, p. 458 de la traduction française.

(94) [page 261]. Le sommet le plus élevé des Pyrénées, le pic de Nethou, qui fait partie du groupe de Maladetta ou Malahitha, a été mesuré trigonométriquement à deux reprises : il a, d'après Reboul, 10 737 pieds (3 481^{m}), et d'après Corabœuf, 10 478 pieds (3404^{m}). Il a donc 1 600 pieds de moins que le mont Pelvoux dans les Alpes françaises, près de Briançon. Après le pic de Nethou viennent, dans les Pyrénées, le pic Posets ou Érist, et dans le groupe du Marboré, le Mont-Perdu et le Cylindre.

(95) [page 261]. Voy. *Mémoire pour servir à la description géologique de la France*, t. II, p. 339. Comp. sur les *Valleys of elevation*, et les *encirling ridges* de la formation silurienne, les excellentes descriptions de sir Roderick Murchison (*the Silurian System*, 1re part., p. 427-442).

(96) [page 262]. Bravais et Martins, *Observations faites au sommet et au grand plateau du Mont-Blanc*, dans l'*Annuaire météorol. de France pour* 1850, p. 131).

(97) [page 263]. *Cosmos*, t. IV, p. 193. J'ai visité les volcans de l'Eifel deux fois, et à des époques très-différentes dans le développement des études géologiques, vers la fin de 1794 et au mois d'août 1845. La première fois, j'ai exploré les environs du lac de Laach et de l'abbaye, qui alors était encore habitée par des moines; la seconde fois les environs de Bertrich, le Mosenberg et les *Maars* ou cratères d'explosion qui en sont voisins. Je n'ai pu consacrer que quelques jours à chacune de ces excursions. Mais comme j'avais, dans mon second voyage, le bonheur d'accompagner mon intime ami

le Directeur général des Mines de Dechen, j'ai pu mettre librement à profit, grâce à une correspondance de plusieurs années et aux travaux manuscrits qu'il a bien voulu me communiquer, les observations de cet éminent géognoste. J'ai souvent indiqué par des guillemets, selon mon habitude, les passages que j'ai extraits textuellement de ces notes.

(98) [page 263]. H. de Dechen, *Geognostische Uebersicht der Umgegend von Bad Bertrich*, 1847, p. 11-51.

(99) [page 264]. Voy. Stengel, dans Nœggerath, *das Gebirge von Rheinland und Westphalen*, t. I, p. 79, pl. III. Comp. aussi les excellentes explications relatives aux volcans de l'Eifel et au bassin de Neuwied, que C. d'Oeynhausen a ajoutées à sa carte géognostique du lac de Laach (1847, p. 34, 39 et 42). Sur les *Maars* ou cratères d'explosion, voy. Steininger, *Geognostische Beschreibung der Eifel*, 1853, p. 113. Son premier travail, déjà fort méritoire, *die erloschenen Vulkane in der Eifel und am Nieder-Rhein*, est de l'année 1820.

(100) [page 267]. La leucite, semblable à celle du Vésuve, à celle de la Rocca di Papa, dans les montagnes d'Albano, à celle de Viterbo et de la Rocca Monfina, qui, d'après Pilla, à quelquefois une épaisseur de plus de 3 pouces, et se retrouve dans la dolérite du Kaiserstuhl en Brisgau, existe aussi dans l'Eifel, sur le Burgberg, près de Rieden, comme élément du leucitophyre. Le tuf de l'Eifel renferme, près de Boll et de Weibern, de grands blocs de cette dernière roche. Je ne peux pas résister au désir de citer ici la remarque suivante, empruntée au manuscrit d'un mémoire chimico-géognostique, que Mitscherlich a lu, il y a quelques semaines, à l'Académie de Berlin : « Les éruptions de l'Eifel n'ont pu être occasionnées que par des vapeurs d'eau; mais ces vapeurs auraient divisé et dispersé l'olivine et l'augite en fines gouttelettes, si elles les avaient encore trouvées à l'état fluide. Des fragments concrétionnés de l'ancienne montagne

détruite sont étroitement mêlés à la masse primitive dans les matières rejetées par le volcan, par exemple, à l'étang de Dreiser; le plus souvent même, les grandes masses d'olivine et d'augite sont enfermées dans une croûte épaisse de ce mélange. Jamais on ne trouve dans l'olivine ou dans l'augite de fragments de l'ancienne montagne. Donc ces deux roches étaient formées avant d'arriver à l'endroit ou l'écroulement eut lieu. Donc l'olivine et l'augite s'étaient déjà séparées de la masse liquide de basalte avant que cette masse rencontrât un amas d'eau, ou une source qui occasionnât l'éruption. » Voyez aussi, sur les bombes, un travail plus ancien de Léonard Horner, dans les *Transactions of the Geological Society*, 2e série, t. IV, 2e part., 1836, p. 467.

(1) [page 268]. Léop. de Buch, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXXVII, p. 179. Les matières volcaniques proviennent, d'après Scacchi, de la première éruption du Vésuve qui eut lieu en 79; voy. Leonhard's *neues Jahrbuch für Mineralogie,* année 1853, p. 259.

(2) [page 271]. Sur l'âge de formation de la vallée du Rhin, voyez H. de Dechen, *geognostische Beschreibung des Siebengebirges* dans les *Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der Preuss. Rheinlande und Westphalens*, 1852, p. 556-559. Ehrenberg a traité des infusoires de l'Eifel dans les *Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1844, p. 337; 1845, p. 133 et 148; 1846, p. 161-171. Le trass de Brohl, qui est rempli de fragments de pierre ponce, contenant des infusoires, forme des collines hautes de 800 pieds.

(3) [page 272]. Comparez Rozet, dans les *Mémoires de la Société géologique*, 2e série, t. I, p. 119. On trouve également dans l'île de Java, ce champ merveilleux de l'activité volcanique, entre Gunung-Salak et Perwakti, des cratères sans cônes, analogues aux *Maars*, et qui font l'effet de volcans plats. Voy. Junghuhn, *Java*, *seine Gestalt und*

Pflanzendecke. Sans aucune éminence, qui en marque le contour, ces cratères se trouvent souvent dans les parties absolument plates des terrains montagneux; à l'entour sont épars les fragments angulaires des roches brisées par l'explosion. Il ne sort plus de ces volcans que des vapeurs et des gaz.

(4) [page 273]. Humboldt, *Atlas des volcans des Cordillères de Quito et de Mexico*, pl. IV. Voy. aussi les *Mélanges de Géologie et de Physique générale,* t. I, p. 150-185 de la traduct. franç.

(5) [page 273]. *Ibid.*, pl. VI.

(6) [page 273]. *Ibid.*, pl. VIII, voy. aussi les *Mélanges,* t. I, p. 515. Sur la situation topographique du Popocatepetl (*Montagne fumante*, dans la langue des Aztèques), qui s'élève à côté de la *Dame-Blanche couchée* ou Iztaccihuatl, et sur les relations géographiques de cette montagne avec le lac de Tezcuco à l'Ouest, et la pyramide de Cholula à l'Est, voy. mon *Atlas géographique et physique de la Nouvelle-Espagne,* pl. III.

(7) [page 273]. *Volcans des Cordillères de Quito et de Mexico,* pl. IX. Sur le Citlaltepetl, *Montagne des Étoiles,* dans la langue des Aztèques, voy. mes *Mélanges*, t. I, p. 467-470 de la traduct franç., et mon *Atlas géograph. et phys. de la Nouvelle-Espagne,* pl. XVII.

(8) [p. 273). *Volcans des Cordillères de Quito et de Mexico,* pl. II.

(9) [page 273]. *Vues des Cordillères et Monuments des peuples indigènes de l'Amérique,* pl. LXII.

(10) [page 273]. *Volcans des Cordillères de Quito et de Mexico,* pl. I et X; *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 1-80, de la traduct. franç.

(11) [page 274]. *Volcans des Cordillères*, pl. IV.

(12) [page 274]. *Ibid.*, pl. III et VII.

(13) [page 274]. Longtemps avant l'arrivée de Bouguer et La Condamine, sur le plateau de Quito (1736), longtemps avant les mesures des astronomes, les indigènes savaient que le Chimborazo était plus haut que tous les autres Nevados du pays. Ils avaient reconnus deux lignes dont le niveau ne changeait presque pas durant toute l'année : la limite inférieure des neiges éternelles, et celle de la neige sporadique ou accidentelle. J'ai montré ailleurs, par des mesures (*Asie centrale,* t. III, p. 255), que dans la région équatoriale de Quito, située au niveau du sommet du Mont-Blanc, la limite inférieure des neiges ne varie, sur la pente de six des plus grands colosses, que de 180 pieds. Comme cette inégalité et d'autres encore moins considérables, vues, à une pareille distance, sont imperceptibles sans lunette, il en résulte, pour le monde des tropiques, une régularité en apparence continue dans l'enveloppe neigeuse qui recouvre le sommet des montagnes, c'est-à-dire dans la forme de la ligne des neiges éternelles. Cet aspect du paysage étonne les physiciens habitués à l'irrégularité de la ligne des neiges dans les zones variables, dites tempérées. Ce niveau horizontal de la neige autour de Quito, et la connaissance du maximum des oscillations qu'il peut subir, fournit des bases verticales de 14 800 pieds au-dessus de la mer et de 6 000 pieds au-dessus du plateau où sont situées les villes de Quito, de Hambato et de Nuevo-Riobamba, bases qui, en y joignant des hauteurs d'angles très-exactes, peuvent servir à la mesure des distances et à d'autres travaux topographiques exigeant de la rapidité. La seconde de ces lignes, c'est-à-dire la ligne horizontale qui marque la limite inférieure de la neige sporadique, sert a distinguer les hauteurs relatives des montagnes dont les cimes n'atteignent pas la région des neiges éternelles. Sur une longue chaîne de ces montagnes, beaucoup, que l'on avait crues d'égale hauteur, sont reconnues inférieures à la ligne des

neiges sporadiques; ainsi ces neiges permettent de se prononcer sur les hauteurs relatives. Dans les montagnes de Quito, où les Sierras Nevadas sont souvent rapprochées, sans que leurs couvertures de neige éternelle se touchent, j'ai souvent recueilli de la bouche de paysans ou de bergers de semblables réflexions sur les limites des neiges éternelles ou temporaires. L'aspect grandiose de la nature peut exciter la sensibilité des indigènes, là même où ils n'ont pas franchi le premier degré de la civilisation.

(14) [page 275]. Voy. Abich, dans le *Bulletin de la Société de Géographie* (4e série, t. I, 1851, p. 517), auquel est joint un très-beau dessin de l'ancien volcan.

(15) [page 275]. Humboldt, *Vues des Cordillères,* p. 295, pl. LXI, et *Atlas de la Relation historique,* pl. XXVII.

(16) [page 277]. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale,* t. I, p. 60-80 de la traduct. franç.

(17) [page 277]. Junghuhn, *Reise durch Java,* 1845, p. 215, pl. XX.

(18) [page 277]. Voy. Adolf Erman, dans un ouvrage très-important pour la géognosie, comme à beaucoup d'autres points de vue (*Reise um die Erde*), t. III, p. 207 et 271.

(19) [page 278]. Sartorius de Waltershausen, *Physisch-geographische Skizze von Island,* 1847, p. 107, et *geognostischer Atlas von Island,* 1853, pl. XV et XVI.

(20) [page 278]. Otto de Kotzebue, *Entdeckungs-Reise in die Sudsee und in die Berings-Strasse,* 1815-1818, t. III, p. 68; Choris, *Reise-Atlas*, 1820, pl. V; vicomte d'Archiac, *Histoire des progrès de la Géologie*, 1847, t. I, p. 544, et Buzeta, *Diccionnario geograph. estad. historico de las islas Filipinas*, t. II, Madrid, 1851, p. 436, 470 et 471; on ne trouve cependant pas mentionnée dans cet ouvrage la double enceinte ou le second

cratère situé dans le cratère-lac et décrit par Delamare avec beaucoup d'exactitude et de détails dans sa lettre à M. Arago, du mois de novembre 1842 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XII, p. 736). Une violente éruption avait eu lieu le 24 septembre 1716; celle de décembre 1754, quoique moins violente, détruisit, sur le bord sud-ouest du lac, l'ancien village de Taal, qui fut reconstruit plus tard à une plus grande distance du volcan. La petite île du lac, sur laquelle s'élève le volcan, s'appelle *Isla del Volcan* (voy. Buzeta, *ibid.*). La hauteur absolue du volcan de Taal est de 840 pieds environ; il est donc, avec celui de Kosima, un des moins élevés. Il était en pleine activité en 1842, lors de l'expédition américaine du capitaine Wilkes (voy. *U. St. Exploring Expedition*, t. V, p. 317).

(21) [page 278]. Voy. Humboldt, *Examen critique de l'histoire de la géographie du nouveau continent aux* XV[e] *et* XVI[e] *siècles*, t. III, p. 135, et le *Périple* d'Hannon, dans le recueil d'Hudson : *Geographi Græci minores*, t. I, p. 45.

(22) [page 279]. *Cosmos*, t. I, p. 259.

(23) [page 280]. Sur la situation de ce volcan, qui n'est dépassé en petitesse que par les volcans de Tanna et du Mendaña, voyez la belle carte de l'empire du Japon, par F. de Siebold, 1840.

(24) [page 280]. Je n'ai pas nommé, parmi les îles volcaniques, à côté du Pic de Ténériffe, le Mauna-Roa, dont la forme conique ne répond pas à son nom. En langue Sandwich, le mot *mauna* a le sens de *montagne*, et le mot *roa* signifie à la fois *long* et *beaucoup*. Je ne nomme pas non plus le Hawaii, sur la hauteur duquel on a si longtemps discuté, et que longtemps aussi on a décrit comme un dôme de trachyte fermé au sommet. Le célèbre cratère de Kiraueah, formé par un lac de lave en ébullition, se trouve à l'Est, sur une hauteur de 3724 pieds, d'après Wilkes, et près du pied du Mauna-Roa.

Voy. l'excellente description de ce volcan, dans Charles Wilkes, *Exploring Expedition*, t. IV, p. 165-196.

(25) [page 281]. Lettre de F. Hoffmann à L. de Buch, *ueber die geognostische Constitution der Liparischen Inseln*, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXVI, 1832, p. 59. Volcano, haut de 1 190 pieds, d'après les récentes mesures de Ch. Sainte-Claire Deville, a eu de fortes éruptions de scories et de cendres en 1444, à la fin du XVIe siècle, en 1731, 1739 et 1771. Ses fumerolles contiennent du sel ammoniac, du soufre, de l'acide borique, du sélénium, du sulfure d'arsenic, du phosphore et, d'après Bornemann, des traces d'iode. C'est la première fois que l'on trouve ces trois dernières substances parmi les produits volcaniques. Voy. les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XLIII, 1856, p. 683.

(26) [page 282]. Squier, dans l'*American Association* (*tenth annual Meeting, at New-Haven*, 1850).

(27) [page 282]. Franz Junghuhn, *Java, seine Gestalt und Pflanzendecke*, 1852, t. I, p. 99. Le Ringgit, dont les éruptions formidables ont coûté, en 1586, la vie à des milliers de personnes, est maintenant presque éteint.

(28) [page 282]. Le sommet du Vésuve n'est donc que de 242 pieds plus élevé que le Brocken.

(29) [page 282]. Humboldt, *Vues des Cordillères*, pl. XLIII, et *Atlas géographique et physique*, pl. XXIX.

(30) [page 282]. Junghuhn, *ibid.*, t. I, p. 68 et 98.

(31) [page 282]. Comp. ma *Relation historique* (t. I, p. 93), surtout pour la distance à laquelle on a aperçu quelquefois le sommet du volcan de l'île Pico. L'ancienne mesure de Ferrer avait donné une hauteur de 7 428 pieds, c'est-à-dire 285 pieds de plus que le calcul du capitaine Vidal, fait certainement avec plus de soin (1843).

(32) [page 282]. Erman, dans son intéressante description des volcans de la presqu'île de Kamtschatka, attribue à l'Awatschinskaja ou Gorelaja Sopka, 8 360 pieds de hauteur, et à la Strjeloschnaja Sopka, que l'on appelle aussi Korjazkaja Sopka, 11 090 pieds (*Reise*, t. III, p. 494 et 540). Comp. sur ces deux volcans, dont le premier est le plus actif, L. de Buch, *Description physique des îles Canaries*, p. 447-450 de la traduction française. L'altitude qu'Erman donne au volcan d'Awatscha est celle qui s'accorde le mieux avec la plus ancienne mesure, exécutée par Mongez en 1787, pendant l'expédition de La Pérouse (8 198 pieds), et avec les calculs plus récents du capitaine Beechey (8 497 pieds). Hoffmann, dans l'expédition de Kotzebue, et Lenz, dans celle de Lutke, ne trouvèrent que 7664 et 7 705 pieds; comp., Lutke, *Voyage autour du monde*, t. III, p. 67-84. La mesure de la Strjeloschnaja Sopka par l'amiral a donné 10 518 pieds.

(33) [page 283]. Comp. les tables des hauteurs de Pentland dans Mary Somerville, *Physische Geographie*, t. II, p. 452; sir Woodbine Parish, *Buenos-Ayres and the prov. of the Rio de la Plata*, 1854, p. 343; Poppig, *Reise in Chili und Peru*, t. I, p. 411-434.

(34) [page 283]. Faut-il admettre que le sommet de ce remarquable volcan perd peu à peu de sa hauteur? Une mesure barométrique faite par Baldey, Vidal et Mudge, en 1819, a donné 2 975 mètres ou 9 156 pieds; tandis qu'un observateur très-consciencieux et très-exercé, qui a rendu d'importants services à la géognosie des volcans, M. Sainte-Claire Deville, n'a trouvé, en 1842, que 8587 pieds (*Voyage aux îles Antilles et à l'île de Fogo*, p. 155). Peu avant cette époque, le capitaine King n'avait évalué la hauteur du volcan de Fogo qu'à 8 267 pieds.

(35) [page 283]. Voy. Erman, *Reise*, t. III, p. 271, 275 et 297. Le volcan Schiwelutsch a, comme le Pichincha, la forme,

peu commune dans les volcans actifs, d'une croupe allongée (chrebet) sur laquelle s'élèvent des cimes et des crêtes isolées (grebni). Dans toute la région volcanique de la presqu'île, on désigne toujours sous le nom de *sopki* les montagnes en forme de cloche ou de cône.

(36) [page 283]. Sur la concordance remarquable de cette mesure trigonométrique avec la mesure barométrique de sir John Herschel, voy. *Cosmos*, t. I, p. 435 (note 2).

(37) [page 283]. La mesure barométrique de Sainte-Claire Deville, en 1842, a donné 3706 mètres ou 11408 pieds (*Voyage aux Antilles*, p. 102-118). Ce résultat est presque conforme à celui de la deuxième mesure trigonométrique (11330 p.), exécutée par Borda en 1776, et que j'ai pu publier le premier, d'après un manuscrit du Dépôt de la Marine (*Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 116 et 275-287). La première mesure trigonométrique, faite par Borda et Pingré, en 1771, avait donné seulement 10452 pieds au lieu de 11430. L'erreur venait d'une notation fausse : on avait marqué pour la valeur d'un angle 33′ au lieu de 53′, ainsi que me l'a raconté Borda lui-même, qui, avant mon voyage pour l'Orénoque, m'a témoigné une grande bienveillance et donné de très-utiles conseils.

(38) [page 283]. J'adopte ici les indications de Pentland, (12367 pieds anglais ; je le peux d'autant mieux que, d'après le *Voyage of discovery in the antarctic Regions*, de sir John Ross (t. I, p. 216), la hauteur du volcan, dont la fumée et les flammes sont visibles même pendant le jour, est évaluée, en général, à 12400 pieds anglais (11634 p. de Paris).

(39) [page 283]. Sur l'Argæus, qu'Hamilton a gravi et mesuré le premier barométriquement (11921 pieds de Paris ou 3905 mètres), voy. Pierre de Tchihatcheff, *Asie Mineure*: 1853, t. I, p. 441-449 et 571. William Hamilton, dans son excellent ouvrage (*Researches in Asia Minor*), obtient, comme

moyenne d'une mesure barométrique et de quelques angles de hauteur, 13000 pieds anglais (12196 p. de Paris). Mais si, d'après Ainsworth, la hauteur de Kaisarieh est de 1000 pieds anglais (938 p. de Paris) au-dessous du chiffre d'Hamilton, il ne reste plus pour la hauteur de l'Argæus que 11268 pieds de Paris (voy. Hamilton, dans les *Transact. of the geolog. Society*, t. V, 3e part., 1840, p. 596). Un grand nombre de très-petits cônes d'éruption s'élèvent au sud-est de l'Argæus (Erdschisch-Dagh), dans la grande plaine d'Eregli et au sud du village de Karabunar et du groupe de montagnes connu sous le nom de Karadscha-Dagh. Un de ces cônes d'éruption, pourvu d'un cratère, offre l'aspect très-curieux d'un vaisseau dont l'avant aurait la forme d'un éperon. Ce cratère se trouve dans un lac salé, sur le chemin de Karabunar à Eregli, à un mille au moins de Karabunar. La colline porte le même nom. Voy. Tchihatcheff, *Asie Mineure*, t. I, p. 455; William Hamilton, *Researches in Asia Minor*, t. II, p. 217.

(40) [page 283]. La hauteur indiquée est proprement celle du lac alpin connu sous le nom de *Laguna verde*, au bord duquel se trouve la solfatare examinée par Boussingault (voy. Acosta, *Viages cientificos á los Andes ecuatoriales*, 1849, p. 75).

(41) [page 283]. Boussingault est parvenu jusqu'au cratère, et a mesuré la hauteur de la montagne barométriquement; son résultat est presque conforme à celui que j'avais trouvé par estimation, vingt-trois ans auparavant, dans mon voyage de Popayan à Quito.

(42) [page 283]. Il y a peu de volcans dont on ait autant exagéré la hauteur que le colosse des îles Sandwich. De 17270 pieds, nombre indiqué dans le troisième voyage de Cook, King le fait descendre à 15465 pieds, Marchand à 15588, le capitaine Wilkes à 12909, enfin Horner, dans l'expédition de Kotzebue, à 12693. C'est Léopold de Buch qui, le premier, a publié les bases de ce dernier résultat, dans sa *Des-*

cription physique des îles Canaries, p. 379. Comp. Wilkes, *Exploring Expedition*, t. IV, p. 111-162. Le bord oriental du cratère n'a que 12609 pieds. Du reste, un nombre plus élevé pour une montagne qui, comme on l'affirme du Mauna-Roa (lat. 19° 18′), n'a pas de neige, serait en contradiction avec le résultat des expériences que j'ai faites au Mexique, d'après lesquelles la limite des neiges perpétuelles sous les mêmes latitudes ne s'abaisse pas au-dessous de 13860 pieds. Voy. Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, t. I, p. 97; *Asie centrale*, t. III, p. 269 et 359.

(43) [page 283]. Le volcan s'élève à l'ouest du village de Cumbal, qui lui-même est bâti à 9911 pieds au-dessus de la mer (voy. Acosta, *Viages cientificos*, etc., p. 76).

(44) [page 283]. Je donne ici le résultat de mesures plusieurs fois répétées par Erman, en septembre 1829. Il paraît que la hauteur des bords du cratère varie à cause de la fréquence des éruptions; car des mesures exécutées en août 1828, et qui méritent la même confiance que celles d'Erman, n'avaient donné que 15040 pieds. Comp. Erman, *Physikalische Beobachtungen auf einer Reise um die Erde*, t. I, p. 400 et 419, avec la partie historique du voyage, t. III, p. 358-360.

(45) [page 283]. Dans l'inscription qu'ils ont placée à Quito, Bouguer et La Condamine donnent au Tunguraliua, avant la grande éruption de 1772 et le tremblement de terre de Riobamba (1797), qui a occasionné des écroulements de montagnes considérables, 15738 pieds. Je n'ai trouvé, en 1802, par des opérations trigonométriques, que 15473 pieds.

(46) [page 283]. D'après Acosta (*Viages cientificos*, p. 70), en mesurant barométriquement la cime la plus élevée du volcan de Puracé, Francisco José Caldas, qui, comme mon cher compagnon Carlos Montufar, est tombé victime de son amour pour l'indépendance de sa patrie, a trouvé

5 184 mètres (15 957 pieds). J'ai reconnu que la hauteur du petit cratère, *Azufral del Boqueron,* qui vomit bruyamment de la vapeur de soufre, est de 13524 pieds (voy. mon *Recueil d'Observations astronomiques et d'Opérations trigonométriques,* t. I, p. 304).

(47) [page 284]. Le Sangay n'est pas moins remarquable par sa situation que par son activité continue. Placé un peu à l'est de la Cordillère orientale de Quito, au sud de Rio Pastaza et à 26 milles de la côte la plus voisine de l'Océan Pacifique, il est, comme les volcans des Montagnes Célestes de l'Asie, une objection à la théorie d'après laquelle les Cordillères orientales du Chili devraient à leur éloignement de la mer d'être protégée contre les éruptions volcaniques. Le spirituel Darwin n'a pas manqué de rappeler en détail, dans ses *Geological Observations on South America* (1846, p. 185), ces vieilles théories si répandues sur les caractères volcaniques des côtes.

(48) [page 284]. J'ai mesuré le Popocatepetl, que l'on appelle aussi le *Volcan grande de Mexico,* dans la plaine de Tetimba, près du village indien *San Nicolas de los Ranchos.* Je suis encore incertain lequel est le plus haut, du Popocatepetl ou de l'Orizaba (voy. *Recueil d'Observations astronomiques*, t. II, p. 543).

(49) [page 284]. Le pic d'Orizaba, couvert de neiges éternelles, et dont, jusqu'à mon voyage, le lieu géographique a été mal indiqué sur toutes les cartes, quelque importance qu'il ait pour les navires qui abordent à Véra-Cruz, a été pour la première fois mesuré trigonométriquement par Ferrer (1796). L'opération, exécutée du haut de l'Encero, a donné 16776 pieds. J'ai tenté la même chose dans une petite plaine, près de Xalapa, et j'ai trouvé 16302 pieds; mais les angles de hauteur étaient très-petits et la base était difficile à niveler. Voy. Humboldt, *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne,* 2e édition, t. I, 1825, p. 166; *Atlas du Mexique* (carte des fausses

positions), pl. X, et *Mélanges de Physique générale et de Géologie*, t. I, p. 519.

(50) [page 284]. Humboldt, *Essai sur la géographie des Plantes*, 1807, p. 153. La hauteur est incertaine et a été exagérée peut-être de plus d'un quinzième.

(51) [page 284]. J'ai mesuré, en 1802, le cône tronqué du volcan de Tolima, situé à l'extrémité orientale du Paramo de Quindiu, dans le *Valle del Carvajal*, près de la petite ville d'Ibague. On voit aussi cette montagne du plateau de Bogota, à une très-grande distance. Caldas a trouvé à cette distance, par une combinaison un peu compliquée, un résultat assez rapproché du mien (17292 pieds). Voy. *Semanario de la Nueva Granada, nueva edicion, aumentada por J. Acosta*, 1849, p. 349.

(52) [page 284]. La hauteur absolue du volcan d'Arequipa a été si diversement évaluée qu'il est difficile de distinguer les simples estimations des mesures véritables. Un savant très-distingué, le docteur Thaddæus Hænke, de Prague, attaché comme botaniste au voyage de circumnavigation de Malaspina, a fait l'ascension du volcan d'Arequipa en 1796, et a trouvé au sommet une croix qui y avait été posée 12 ans auparavant. Hænke, dit-on, mesura trigonométriquement le volcan, et trouva 3180 toises (19080 p.) au-dessus de la mer. Ce nombre, beaucoup trop élevé, provient sans doute d'une inexactitude dans la hauteur absolue de la ville d'Arequipa, aux environs de laquelle l'opération fut faite. Si Hænke eût été pourvu d'un baromètre, un botaniste, qui n'avait nulle expérience des mesures trigonométriques, n'aurait pas eu recours à ce procédé. Après Hænke, le premier qui ait gravi l'Arequipa est Samuel Curzon des États-Unis (*Boston philosophical Journal*, nov. 1823, p. 168). Pentland en 1830, évaluait la hauteur de ce volcan à 5600 mètres (*Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an* 1830, p. 325).

et j'ai adopté ce résultat pour ma carte hypsométrique de la Cordillère des Andes, publiée en 1831. La mesure trigonométrique d'un officier de marine français, M. Dolley, qu'a bien voulu me communiquer en 1826 le capitaine Alphonse de Moges, à Paris, est suffisamment d'accord avec le nombre de Pentland, environ à 1/47e près. Dolley a trouvé, par des opérations trigonométriques, que le sommet du volcan d'Arequipa est élevé de 10 348 pieds, et celui du Charcani de 11 126 pieds, au-dessus du plateau où est bâtie la ville d'Arequipa. Si l'on adopte pour la hauteur d'Arequipa 7 366 pieds (7 852 p. anglais), d'après les mesures trigonométriques de Pentland et de Rivero, l'opération trigonométrique de Dolley donne, pour le volcan d'Arequipa, 17 712 pieds (2 952 t.); pour le volcan Charcani, 18 492 pieds (3 082 t.); le nombre indiqué par Pentland dans la table des hauteurs jointe à la *Physical Geography* de Mary Somerville, (3e édit., t. II, p. 454), est exactement de 7 852 pieds anglais. Pour l'opération de Rivero, voy. le *Memorial de ciencias naturales*, t. II, Lima, 1828, p. 65; voy. aussi Meyen, *Reise um die Erde*, t. II, 1835, p. 5. Cependant, la table des hauteurs dressée par Pentland attribue au volcan d'Arequipa une hauteur de 20 320 pieds anglais ou 6190 mètres (19065 p. de Paris), c'est-à-dire 1 825 pieds de Paris de plus que la mesure de 1830. D'un autre côté, ce nombre n'est que trop identique avec la mesure trigonométrique de Hænke, qui date de l'année 1796. Les *Anales de la Universidad de Chile* (1852, p. 221) ne donnent, au contraire, à ce volcan que 5600 mètres ou 17 240 pieds de Paris, c'est-à-dire 590 mètres de moins. Triste état de l'hypsométrie !

(53) [page 284]. Boussingault, accompagné par le savant colonel Hall, est presque parvenu au sommet du Cotopaxi. D'après ses mesures barométriques, il a atteint la hauteur de 5 746 mètres. Il n'était plus séparé que par un petit espace des bords du cratère, mais la neige trop peu solide l'em-

pêcha d'avancer. L'évaluation de Bouguer est peut-être trop faible, parce que son calcul trigonométrique, un peu compliqué, dépend de l'hypothèse qu'il avait adoptée pour la hauteur de Quito.

(54) [page 284]. Le Sahama, dont Pentland dit positivement qu'il est encore en activité (*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1830, p. 321), se trouve, sur sa nouvelle carte de la vallée de Titicaca (1848) à l'est d'Arica, dans la Cordillère occidentale. Il est de 871 pieds plus haut que le Chimborazo, et dans le rapport de 30 à 1 avec le plus petit volcan du Japon, le Cosima. J'ai renoncé à faire entrer dans le cinquième groupe l'Aconcagua du Chili, qui a, d'après Fitzroy (1835), une hauteur de 21 767 pieds, et avec les corrections de Pentland 22 431, ou, d'après la dernière mesure prise par le capitaine Kellet sur la frégate *Herald* (1845), 23 004 pieds anglais ou 21 584 pieds de Paris, parce que le désaccord de Miers (*Voyage to Chili*, t. I, p. 283) et de Charles Darwin (*Journal of Researches into the Geology and Natural History of the various countries visited by the Beagle*, 2e ed., p. 291), permet de douter que cette montagne colossale soit un volcan encore enflammé. Mary Somerville, Pentland et Gillis (*Naval Astron. Expedit.*, t. I, p. 126) se sont prononcés pour la négative. Darwin dit : « I was surprised at hearing that the Aconcagua was in action the same night (15 janv. 1835), because this mountain most rarely shows any sign of action. »

(55) [page 285]. Ces masses de porphyre qui viennent se mettre à jour ont une grande puissance, surtout près de l'Illimani, à Cenipampa (haut., 14 962 p.) et à Totorapampa (haut., 12 860 p.). Un porphyre quartzifère micacé, qui renferme des grenats et des fragments anguleux de schiste siliceux, forme la cime supérieure du célèbre Cerro de Potosi riche en mines d'argent. Ces renseignements sont extraits des manuscrits de Pentland (1832). L'Illimani, dont Pentland évaluait la hauteur d'abord à 7 315 mètres, et plus tard à 6 445

mètres, a été, depuis 1847, mesuré très-soigneusement par l'ingénieur Pissis, qui, en faisant le relevé trigonométrique de la Llanura de Bolivia, a trouvé en moyenne, pour l'Illimani, par trois triangles tracés entre Calamarca et La Paz, 6 509 mètres. ce qui ne diffère de la dernière estimation de Pentland que de 64 mètres. Voy. *Investigaciones sobre la altitud de los Andes*, dans les *Anales de Chile*, 1852, page 217 et 221.

(56) [page 287]. Sartorius de Waltershausen, *Geognost. Skizze von Island*, p. 103 et 107.

(57) [page 288]. Voy. Strabon, l. VI, p. 276, édit. Casaub. On lit dans Pline (*Hist. Natur.*, l. III, c. 9) : « Strongyle, quæ a Lipara liquidiore flamma tantum differt; e cujus fumo quinam flaturi sint venti, in triduo prædicere incolæ traduntur. » Comp. Urlichs, *Vindiciæ Plinianæ*, 1853, fasc. I, p. 39. Le volcan jadis si actif de Lipara, situé dans la partie nord-est de l'île, me paraît avoir été le *Monte Campo bianco*, ou bien le *Monte di Capo Castagno* (voy. aussi Hoffmann, dans Poggendorff's *Annalen*, t. XXVI, p. 49-54).

(58) [page 289]. *Cosmos*, t. I, p. 251 et 525 (note 7). M. Albert Berg, qui avait publié auparavant un ouvrage pittoresque, intitulé : *Physiognomie der tropischen Vegetation von Sud-Amerika*, est parti en 1853 de Rhodes et de la baie de Myra (Andriace) pour visiter la Chimère de Lycie, près d'Yanartasch et de Deliktasch (le nom turc *Deliktasch* signifie *pierre trouée*, de *tasch* qui veut dire *pierre*, comme dâgh et tâgh veulent dire *montagne*, et de *delik* trou). Le voyageur n'a commencé à voir la serpentine que près d'Adrasan, tandis que Beaufort a trouvé déjà près de l'île de Garabusa (et non Grambusa), au sud du cap Chelidonia, la serpentine foncée superposée au calcaire et peut-être encaissée dans le calcaire. Je lis ce qui suit dans les manuscrits de M. Berg : « Non loin des ruines de l'ancien temple de Vulcain s'élèvent celles d'une église chrétienne, construite dans le dernier style byzantin; on

voit encore des restes de la nef et de deux chapelles latérales. Dans une avant-cour placée du côté de l'Est, la flamme sort de la serpentine par une ouverture ressemblant à une cheminée, de 2 pieds de large et 1 pied de haut. Elle s'élève à 3 à 4 pieds, et répand une odeur agréable, sensible à une distance de 40 pas; cette odeur tient-elle à l'existence d'une source de napthe? A côté de cette grande flamme et en dehors de l'ouverture dont nous venons de parler, on aperçoit en grand nombre, sur les fissures latérales, de très-petites langues de feu qui jamais ne s'éteignent. La roche en contact avec la flamme est fortement noircie; il se forme une suie que l'on ramasse soigneusement, pour l'appliquer sur les paupières malades, et principalement pour teindre les sourcils. La chaleur que répand la flamme de la Chimère est presque insupportable à trois pas. Un morceau de bois sec prend feu, si on le tient dans l'ouverture et si on l'approche de la flamme, sans même qu'il y touche. A l'endroit où la vieille muraille est adossée au rocher, il s'échappe aussi du gaz à travers les pierres du mur. Ce gaz, probablement d'une température moins élevée, ou mélangé différemment, ne s'enflamme pas de lui-même, mais seulement lorsqu'on approche une lumière. Dans l'intérieur des ruines, à 8 pieds au-dessous de la grande flamme, se trouve une ouverture ronde, ayant 6 pieds de profondeur et 3 pieds de largeur, qui probablement était voûtée autrefois, parce que, dans la saison humide, une source s'en échappe, à côté d'une fissure au-dessus de laquelle s'agite une petite flamme. M. Berg indique sur un plan topographique les relations géographiques des couches d'alluvion formées de calcaire (tertiaire?) et de serpentine.

(59) [page 290]. La notice la plus ancienne et la plus importante sur le volcan de Masaya se trouve dans un manuscrit d'Oviedo (*Historia de Nicaragua*, c. V-X) qui a été traduit, il y a quatorze ans seulement, par un collecteur de documents fort distingué, M. Ternaux-Compans (voy.

p. 115-197) de la traduction française, qui forme un volume des *Voyages, Relations et Mémoires originaux pour servir à l'histoire et à la découverte de l'Amérique.* Voy. aussi Lopez de Gomara, *Historia general de las Indias*, Zaragoza, 1553, fol. CX B, et parmi les ouvrages les plus récents : Squier, *Nicaragua its People, Scenery and Monuments*, 1853, t. I, p. 211-223, et t. II, p. 17. Ce volcan, en activité permanente, était si célèbre qu'on en trouve dans la Bibliothèque royale de Madrid une monographie sous ce titre : *Entrada y descubrimiento del volcan de Masaya, que está en la prov. de Nicaragua, fecha por Juan Sanchez del Portero.* L'auteur de cette monographie était un de ceux qui, dans les singulières entreprises du dominicain Fray Blas de Iñesta, se sont fait descendre à l'intérieur du cratère (voy. Oviedo, *Hist. de Nicaragua*, p. 141).

(60) [p. 291]. On lit dans la traduction française de l'ouvrage d'Oviedo, qui n'a point été publié en espagnol (p. 123 et 132) : «On ne peut cependant dire qu'il sorte précisément une flamme du cratère, mais bien une fumée aussi ardente que du feu; on ne la voit pas de loin pendant le jour, mais bien de nuit. Le volcan éclaire autant que le fait la lune quelques jours avant d'être dans son plein ». Cette remarque si ancienne sur le mode d'illumination problématique d'un cratère et des couches d'air qui l'environnent n'est pas sans importance, à cause des doutes qui ont été souvent élevés dans ces derniers temps sur la question de savoir si les cratères des volcans exhalent de l'hydrogène. Quoique l'*Enfer de Masaya*, dans son état ordinaire, tel que nous l'avons décrit, ne vomisse ni scories ni cendres, « cosa que hazen otros volcanes », ajoute Gomara, quelquefois cependant il a vu de véritables éruptions de lave, dont la dernière date probablement de 1670. Depuis cette époque, le volcan est complétement éteint. Cette illumination incessante avait duré 140 ans. Stephens, qui a visité le volcan de Masaja en 1840, n'a trouvé aucune trace

sensible d'embrasement. — Sur la langue Chorotega, sur la signification du mot *Masaya* et sur les Maribios, voy. les ingénieuses recherches ethnographiques de Buschmann, *Ueber die aztekischen Ortsnamen*, p. 130, 140 et 171.

(61) [page 292]. « Les trois compagnons convinrent de dire qu'ils avaient trouvé de grandes richesses ; et Fray-Blas, que j'ai connu comme un homme ambitieux, rapporte, dans sa Relation, le serment que lui et les associés firent sur l'Évangile de persister à jamais dans leur opinion que le volcan contient de l'or mêlé d'argent en fusion. » (Oviedo, *Description de Nicaragua*, c. X, p. 186 et 196). Le *Cronista de las Indias* est, du reste, très-indigné d'un conte qu'aurait fait Fray-Blas, à savoir, que lui, Oviedo, avait demandé à l'Empereur, pour ses armes, « l'enfer de Masaya. » Ce souvenir géognostique n'aurait pas été, du reste, contre les habitudes du temps, car le vaillant Diego de Ordaz, qui se vantait d'avoir pénétré au fond du cratère du Popocatepetl, lors de la première invasion de Cortez dans la vallée du Mexique, reçut l'image de ce volcan comme un ornement héraldique. De même, Oviedo reçut la constellation de la Croix du Sud, et déjà auparavant on avait fait hommage à Colomb d'un fragment de carte des Antilles. Voy. Humboldt, *Examen critique de l'histoire de la Géographie*, t. IV, p. 235-240.

(62) [page 292). Humboldt, *Tableaux de la Nature*, t. II, p. 270.

(63) [page 293]. Squier, *Nicaragua, its People and Monuments*, t. II, p. 104. Voy. aussi John Bailey, *Central America*, 1850, p. 75.

(64) [page 294]. *Memorie geologiche sulla Campania*, 1849, p. 61. J'ai trouvé que la hauteur du Jorullo était de 1578 pieds au-dessus de la plaine d'où il est sorti, et de 4002 pieds au-dessus de la mer.

(65) [page 293]. La Condamine, *Journal du Voyage à l'Équateur*, p. 163, et *Mesure de trois degrès de la Méridienne de l'hémisphère austral*, p. 56.

(66) [page 293]. Chez le marquis de Selvalegre, père de mon malheureux compagnon Carlos Montufar, on était souvent tenté de croire que les *bramidos*, qui ressemblaient aux décharges lointaines d'une batterie de grosse artillerie, et dont l'intensité était extrêmement inégale, sans que le vent eût changé, ou qu'il se fût produit de variations dans l'état barométrique ou thermométrique de l'air, ne provenaient pas du Sangay; on les attribuait au Guacamayo, montagne plus rapprochée de 10 milles géographiques, au pied de laquelle un chemin conduit de Quito aux plaines d'Archidona et du Rio Napo, en traversant l'Hacienda de Antisana (voy. ma carte spéciale de la province de Quixos, nº 23 de mon *Atlas géographique et physique de l'Amérique*, 1814-1834). Don Jorge Juan, qui a entendu tonner le Sangay de plus près que moi, à Pintac, éloigné de quelques milles seulement de la *hacienda de Chillo*, dit positivement que les *bramidos*, qu'il appelle *ronquidos del Volcan* (*Relacion del Viage á la America meridional*, parte I, tomo II, p. 569) appartiennent au Sangay ou Volcan de Macas, dont la voix, si je peux me servir de cette expression, est très-facile à reconnaître. Cette voix paraissait à l'astronome espagnol très-rauque; c'est pourquoi il aime mieux l'appeler un ronflement (ronquido) qu'un mugissement (bramido). Le bruit très-effrayant du Pichincha, que j'ai entendu plusieurs fois, pendant la nuit, dans la ville de Quito, sans qu'il ait été suivi de secousses terrestres, a un son clair, paraissant venir de chaînes que l'on remue ou de masses de verre qui s'écroulent. Wisse décrit les *bramidos* du Sangay tantôt comme un roulement de tonnerre, tantôt comme un bruit saccadé et sec, semblable à un feu de peloton. Du sommet du Sangay jusqu'à Payta et San Buenaventura, dans la province de Choco, où ces bruits sont parve-

nus, il y a 63 et 87 milles géographiques, dans la direction de Sud-Ouest (voy. la *Carte hypsométrique des Cordillères* et la *Carte de la province de Choco*, nº 3 et 23 de mon *Atlas géographique et physique*). Ainsi, au milieu de cette puissante nature, on a pu distinguer la voix de quatre volcans, partant de points rapprochés, à savoir: le Sangay, le Guacamayo, le Tungurahua et le Cotopaxi, plus voisin de Quito, dont j'ai entendu les craquements au mois de février 1803, dans la mer du Sud (voy. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 435). Les anciens remarquaient aussi la différence du bruit qu'un même cratère faisait entendre dans les îles Éoliennes, à des époques différentes (voy. Strabon, l. VI, p. 276). Lors de la grande éruption du volcan de Conseguina, sur la côte de l'océan Pacifique, à l'entrée du golfe de Fonseca (23 janvier 1835), le son se propagea sous terre avec une telle force qu'on l'entendit très-distinctement sur le plateau de Bogota, séparé du volcan par une distance égale à celle qui existe entre l'Etna et Hambourg (voy. Acosta, dans les *Viajes cientificos de M. Boussingault á los Andes*, 1849, p. 56.)

(67) [page 296]. *Cosmos*, t. IV, p. 204.

(68) [page 298]. Voy. Strabon, l. V, p. 248, éd. de Casaub. (ἔχει κοιλίας τινάς), et l. VI, p. 276. Le géographe d'Amasia (l. VI, p. 258) s'exprime, avec un grand sens géologique, sur le double mode de formation des îles : «Quelques îles (et il les nomme) sont des fragments du continent, d'autres ont surgi du fond de la mer, et cela arrive encore aujourd'hui. C'est ainsi probablement qu'ont été soulevées les îles de la haute mer; au contraire, il est plus raisonnable de regarder celles qui se trou. vent proche des promontoires, et qui n'en sont séparées que par un détroit, comme détachées de la terre ferme». Le petit groupe des Pithécuses se composait d'Ischia, la même probablement qui s'appelait à l'origine Ænaria, et de Procida

ou Prochyta. Pourquoi se représentait-on ce groupe comme ayant été peuplé par des singes? Pourquoi les Grecs et les Tyrrhéniens de l'Italie, par conséquent les Étrusques, le désignaient-ils tous de la même manière? C'est un point demeuré fort obscur. Cette appellation se rattache peut-être au mythe d'après lequel Jupiter aurait transformé les anciens habitants en singes. Le nom des singes, ἄριμοι (Strabon, l. XIII, p. 626), rappelait Arima ou les Arimes d'Homère et d'Hésiode (*Iliade*, l. II, v. 783; *Théogonie*, v. 301). Les mots εἰν Ἀρίμοις d'Homère se trouvent réunis en un dans quelques manuscrits, et les auteurs romains ont reproduit cette contraction. Voy. Virgile, *Æneide*, l. IX, v. 716; Ovide, *Métamorphoses*, l. XIV, v. 88. Pline (*Histoire naturelle*, l. III, c. 5) dit formellement : « Ænaria, Homero Inarime dicta, Græcis Pithecusa... » Chez les anciens mêmes, on a cherché le pays des Arimes d'Homère, le séjour de Typhon, en Cilicie, en Mysie, en Lydie, dans les Pithécuses volcaniques, près du *crater Puteolanus*, dans le pays de feu de la Phrygie, sous lequel avait été couché Typhon, et même dans la Κατακεκαυμένη. Il est difficile d'admettre que des singes aient habité, dans les temps historiques, l'île d'Ischia, située si loin de la côte africaine; cela est d'autant moins probable que la présence des singes, à une époque reculée, sur le rocher de Gibraltar n'est pas même prouvée, comme je l'ai déjà fait remarquer ailleurs; car un écrivain du XIIe siècle, Edrisi, et d'autres géographes arabes, qui décrivent avec tant de détails le détroit d'Hercule, n'en font aucune mention. Pline nie l'existence des singes d'Ænaria, mais il donne au nom de Pithécuses l'étymologie la plus invraisemblable, en le faisant venir de πίθος, dolium (a figlinis doliorum). Les faits essentiels qui ressortent de cet examen me paraissent être, dit Bœckh, qu'Inarima est un nom des Pithécuses qui doit son origine à l'interprétation savante non moins qu'à la fiction, comme Corcyra est devenue Scheria, et qu'Énée n'a été mis en relation avec les Pithécuses (Æneæ insulæ) que par les Romains, qui

retrouvent partout dans ces contrées l'auteur de leur race. Naevius paraît confirmer aussi les relations d'Énée avec les Pithécuses, dans le premier livre des *Guerres puniques*.

(69) [page 298]. Pindare, *Pythiques*, I, 31. Comp. Strabon, l. V, p. 245 et 248; l. XIII, p. 627. Nous avons déjà fait remarquer plus haut (*Cosmos*, t. IV, p. 235 et note 67) que Typhon s'était enfui du Caucase dans le midi de l'Italie, et que ce mythe semblait indiquer que les volcans de la grande Grèce sont d'origine plus récente que ceux de l'isthme du Caucase. On ne peut pas séparer de la géographie des volcans et de leur histoire l'étude des mythes populaires; souvent ces deux ordres de faits s'éclairent réciproquement. On avait reconnu, comme cause générale des éruptions volcaniques et des tremblements de terre, ce qui passait pour la plus grande des forces motrices à la surface de la Terre, le vent, le πνεῦμα enfermé (Aristote, *Meteo.*, l. II, c. 8, 3). L'idée qu'Aristote se faisait de la nature reposait sur l'influence réciproque de l'air extérieur et de l'air souterrain, sur une théorie d'évaporation et sur la différence du chaud et du froid, de l'humide et du sec (Aristote, *Meteo.*, l. II, c. 8, 1; 25, 31, et 9, 2). Plus la masse des vents enfermés dans des cavernes souterraines et sous-marines est grande, plus, en d'autres termes, ils sont empêchés de se mouvoir rapidement au loin, ce qui est le caractère propre de leur nature, et plus les éruptions sont considérables. « Vis fera ventorum, cæcis inclusa cavernis, » dit Ovide (*Metam.*, l. XV, v. 299). Il y a une relation particulière entre le pneuma et le feu : Τὸ πῦρ ὅταν μετὰ πνεύματος ᾖ, γίνεται φλὸξ καὶ φέρεται ταχέως (Aristote, *Meteorol.*, l. II, c. 8, 3); Καὶ γὰρ τὸ πῦρ οἷον πνεύματός τις φύσις (Théophraste, *de Igne*, § 30, p. 715). C'est aussi le pneuma qui, devenu libre soudainement, envoie du haut des nues la foudre qui éclaire et enflamme (πρηστήρ). Strabon (l. XIII, p. 628) dit : On montre encore, sur la partie de la Lydie nommée Κατακεκαυμένη, trois gouffres, éloignés l'un de l'autre de 40 stades au moins, et qu'on

appelle *soufflets*. Au-dessus s'élèvent des collines escarpées, soulevées probablement par le gonflement de masses incandescentes. Strabon avait déjà dit auparavant (l. I, p. 57) que, pendant quatre jours de suite, des flammes étaient sorties de la mer, entre les îles Thera et Therasia, dans le groupe des Cyclades, de sorte que « toute la mer était en feu et en bouillonnement, et qu'il s'éleva peu à peu, comme à l'aide de leviers, une île composée de masses incandescentes. » On attribue tous ces phénomènes si bien décrits au vent comprimé, qui agit comme des vapeurs élastiques. L'ancienne physique se soucie peu des différentes formes de la matière; elle est dynamique, et s'attache à la mesure de la force motrice. On ne trouve trace de l'opinion d'après laquelle la chaleur, augmentant avec la profondeur, produit les volcans et les tremblements de terre, que vers la fin du IIIe siècle; encore n'est-ce que le sentiment isolé d'un évêque qui vivait en Afrique sous Dioclétien (*Cosmos*, t. IV, p. 222). Le Pyriphlegethon de Platon, en roulant ses flots de feu à l'intérieur de la Terre, nourrit tous les volcans qui vomissent de la lave (voy. plus haut, p. 299). Ainsi, ce que nous croyons pouvoir expliquer maintenant par d'autres symboles se trouve déjà en germe dans le cercle étroit des idées qui furent les premiers pressentiments du genre humain.

(70) [page 299]. Platon, *Phèdon*, p. 113 B : « οὗτος δ'ἐστὶν ὃν ἐπονομάζουσι Πυριφλεγέθοντα, οὗ καὶ οἱ ῥύακες ἀποσπάσματα ἀναφυσῶσιν, ὅπη ἂν τύχωσι τῆς γῆς. »

(71) [page 301]. Mount Edgecombe ou montagne de Saint-Lazare, sur la petite île nommée par Lisiansky *Croze's Island*, qui est située dans le détroit de Norfolk, à l'ouest et auprès de la partie septentrionale de l'île Sitka ou Baranow. La montagne Saint-Lazare avait été vue déjà par Cook. C'est une colline composée de basalte riche en olivine et de trachyte feldspathique, haute de 2600 pieds seulement. Sa dernière grande éruption, qui a amené beaucoup de pierre ponce à la

surface, date de 1796 (voy. Lutké, *Voyage autour du Monde*, 1836, t. III, p. 15). Huit années plus tard, le capitaine Lisiansky a gravi jusqu'au sommet, où se trouve un cratère-lac. Il n'a rencontré sur toute la montagne aucune trace d'activité volcanique.

(72) [page 303]. Sous la domination espagnole, en 1781, l'ingénieur don José Galisteo avait trouvé, pour la surface de la lagune de Nicaragua, six pieds de plus seulement que Baily, dans ses divers nivellements de 1838 (voy. Humboldt, *Relation historique*, t. III, p. 321).

(73) [page 304]. Comp. sir Edward Belcher, *Voyage round the World*, t. I, p. 185. D'après mes observations chronométriques, je me trouvais, pendant la tempête des Papagayos, par une longitude de 19° 11 Ouest du méridien de Guayaquil, c'est-à-dire par 101°29′ Ouest de Paris, et à 220 milles géographiques du littoral de Costa-Rica.

(74) [page 304]. Mon premie rtravail sur la file des 17 volcans de Guatemala et de Nicaragua se trouve dans le journal géographique de Berghaus (*Hertha*, t. VI, 1826, p. 131-161). A l'exception du vieux *Chronista* Fuentes (l. IX, c. 9), je ne pouvais alors compulser que l'important ouvrage de Domingo Juarros : *Compendio de la Historia de la ciudad de Guatemala*, les trois cartes de Galisteo, tracées, en 1781, sous les ordres du vice-roi de Mexique Matias de Galvez, les travaux de José Rossi y Rubi, *Alcalde mayor de Guatemala* (1800), et ceux de Joaquin Ysasi et d'Antonio de la Cerda, *Alcalde de Grenada*, dont je possédais une grande partie manuscrite. L. de Buch a complété magistralement ma première esquisse, dans sa *Description physique des îles Canaries* (1836, p. 500-514). Mais l'incertitude de la synonymie géographique et la confusion qui en est résulté dans les noms ont fait naître beaucoup de doutes, dissipés depuis en grande partie par la belle carte de Baily et Saunders, par le livre de Molina : *Bosquejo de la Republica de*

Costa-Rica, et par le grand et important ouvrage de Squier : *Nicaragua, its People and Monuments with tables of the comparative heights of the mountains in Central America*, 1852 (voy. surtout t. I. p. 418, et t. II, p. 102). La grande Relation que le docteur Œrsted nous promet prochainement sous ce titre : *Schilderung der Naturverhältnisse von Nicaragua und Costa-Rica* jettera une nouvelle lumière sur l'état géognostique de l'Amérique centrale, indépendamment des excellents travaux de botanique et de zoologie qui sont le but principal de l'ouvrage. M. Œrsted a parcouru ce pays dans tous les sens, de 1846 à 1848, et en a rapporté à Copenhague une collection de roches. Je dois à ses bienveillantes communications des rectifications très-intéressantes du travail incomplet que j'avais publié. Aujourd'hui, d'après les matériaux que j'ai soigneusement comparés, et parmi lesquels il faut compter les recherches précieuses du Consul général prussien dans l'Amérique centrale, M. Hesse, je classe ainsi les volcans de l'Amérique centrale, en suivant la direction du Sud au Nord :

Sur le plateau central de Cartago (haut., 4360 pieds), dans la république de Costa-Rica, s'élèvent, par 10° 9′ de lat., les trois volcans Turrialva, Irasu et Reventado, dont les deux premiers sont encore allumés

Le volcan de Turrialva * (haut., 10300 pieds environ), d'après Œrsted, n'est séparé de l'Irasu que par une crevasse étroite et profonde. Personne n'est encore parvenu au sommet de ce volcan, d'où s'échappent des colonnes de fumée.

Le volcan Irasu *, appelé aussi volcan de Cartago (haut., 10412 pieds) au nord-est du volcan Reventado; c'est le foyer principal de l'activité volcanique dans la province de Costa-Rica. Il est cependant d'un accès singulièrement facile: Du côté du Sud, il est disposé en terrasses, de sorte qu'on peut arriver à cheval presque jusqu'au sommet, d'où l'on embrasse les deux mers, la mer des Antilles et l'océan Pacifique.

Le cône de cendres et de rapillis, haut de 1000 pieds environ, s'élève du milieu d'un mur d'enceinte ou cratère de soulèvement. Le véritable cratère, qui a une circonférence de 7 000 pieds et n'a jamais rejeté de coulées de lave, se trouve dans la partie nord-est du sommet, qui est la plus plane. Ses éruptions de scories ont été souvent (1723; 1726, 1821 et 1847) accompagnées de tremblements de terre, qui ont détruit des villes entières, et se sont fait sentir depuis Nicaragua ou Rivas jusqu'à Panama (Œrsted). Lors de la dernière ascension de l'Irasu par le docteur Charles Hoffmann, au commencement de mai 1855, on a pu étudier plus attentivement le cratère du sommet et ses bouches éruptives. D'après la mesure trigonométrique de Galindo, la hauteur du volcan serait de 12000 pieds espagnols ou 10320 pieds de Paris, en supposant la *vara* de Castille égale à 0ᵗ 43 (*Bonplandia*, année 1856, nº 3).

El Reventado (haut., 8 900 pieds), avec un cratère profond, dans lequel s'est écroulé le bord méridional. Ce cratère était autrefois rempli d'eau.

Le volcan Barba (haut., plus de 7 900 pieds), au nord de San-José, capitale de Costa-Rica, avec un cratère qui renferme plusieurs petits lacs.

Entre les volcans Barba et Orosi se trouve une rangée de volcans, coupant presque en sens opposé la chaîne principale, qui suit, dans les provinces de Costa-Rica et de Nicaragua, la direction du Sud-Est au Nord-Ouest. Sur cette faille se trouvent, à l'extrémité orientale : Miravalles et Tenorio, hauts tous deux environ de 4400 pieds; dans le milieu, au sud-est de l'Orosi, le volcan Rincon, appelé aussi *Rincon de la Vieja* * (Squier, t. II, p. 102), qui chaque printemps, au commencement de la saison des pluies, a de petites éruptions de cendres; enfin, à l'extrémité occidentale, près de la petite ville d'Alajuela, le volcan Votos *, riche en soufre (haut. 7 050 pieds). Le docteur Œrsted compare cette faille transversale de l'Est à l'Ouest, qui marque la direction de l'activité volcanique, avec

la faille qui, dans les volcans du Mexique, unit les deux mers.

L'Orosi*, encore enflammé, dans la partie la plus méridionale de l'État de Nicaragua (haut., 4 900 pieds); c'est le même probablement que le *volcan del Papagayo* de la carte marine du *Deposito hidrografico.*

Les deux volcans Mandeira et Ometepec* (haut., 3 900 et 4900 pieds), sur une petite île que les habitants aztèques de cette contrée appellent *ome tepetl,* c'est-à-dire les deux montagnes (Buschmann, *Aztekische Ortsnamen,* p. 171 et 178), dans la partie occidentale de la Laguna de Nicaragua. Le volcan insulaire Ometepec, que Juarros nomme par erreur Ometep (*Hist. de Guatem.*, t. I, p. 51) est encore en activité. On en trouve un dessin dans Squier (t. II, p. 235).

Le cratère éteint de l'île de Zapatera, qui s'élève peu au-dessus de la mer. L'époque des anciennes éruptions est totalement inconnue.

Le volcan de Momobacho, sur le bord occidental de la Lagune de Nicaragua, un peu au sud de Grenade. Comme cette ville est située entre le volcan de Momobacho appelé aussi Mombacho (Oviedo, *Nicaragua*, trad. par Ternaux, p. 225) et celui de Masaya, les pilotes désignent tantôt l'une, tantôt l'autre de ces deux montagnes coniques sous le nom vague de Volcan de Grenade.

Le volcan Massaya ou Masaya, dont nous avons longuement parlé plus haut (p. 290-292), était autrefois, pour l'activité, une espèce de Stromboli; mais depuis la grande éruption de lave qu'il a eue en 1670, il est complétement éteint. D'après les intéressants rapports du docteur Scherzer (*Sitzungsberichte der philos. histor. Classe der Akademie der Wissensch. zu Wien*, t. XX, p. 58), on a vu, en avril 1853, sortir de nouveau des nuages de vapeur d'un cratère récemment ouvert. Le volcan de Massaya est situé entre les lacs de Nicaragua et de Managua, à l'ouest de Grenade. Massaya et Nindiri ne sont pas un seul et même volcan; ce sont, d'après l'expression du docteur Œrsted, « deux volcans jumeaux avec

deux sommets et deux cratères différents, qui tous deux ont donné de la lave. » La coulée rejetée par le Nindiri, en 1775, est allée se jeter dans le lac de Managua. La hauteur égale de ces deux volcans si rapprochés n'est évaluée qu'à 2 300 p.

Le volcan de Momotombo* (haut., 6 600 p.) est encore actif, et fait souvent entendre des détonations, sans fumer. Il est situé par 12° 28′ de latit., au bord septentrional de la Lagune de Managua, en face de la petite île Momotombito, qui possède beaucoup de monuments de sculpture (voy. le dessin du Momotombo, dans Squier, t. I, p. 233 et 302-312). La Lagune de Managua est située 26 pieds plus haut que la Lagune de Nicaragua qui est deux fois plus grande; elle ne renferme pas de volcan.

De là jusqu'au golfe de Fonseca ou Conchagua se suivent, à une distance de 5 milles du Pacifique et dans la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, 6 volcans rangés en file et serrés l'un contre l'autre, qui portent le nom collectif de *los Maribios* (voy. Squier, t. I, p. 419; t. II, p. 123).

El Nuevo *, appelé à tort *volcan de las Pilas*, parce que l'éruption du 12 avril 1850 a eu lieu au pied de cette montagne. Ainsi, une forte éruption de lave s'est fait jour presque dans la plaine (voy. Squier, t. II, p. 105-110).

Le volcan de Telica *, visité dès la première partie du XVIe siècle (vers 1529), pendant sa période d'activité par Oviedo; il est situé à l'est de Chinendaga, près de Léon de Nicaragua, par conséquent un peu en dehors de la direction indiquée plus haut. Cette importante montagne volcanique vomit beaucoup de vapeurs sulfureuses d'un cratère qui n'a pas moins de 300 pieds de profondeur. Mon ami le professeur Jules Frœbel, très-versé dans la connaissance de l'histoire naturelle, en a fait l'ascension, il y a quelques années seulement. Il a trouvé la lave composée de feldspath vitreux et d'augite (voy. Squier, t. II, p. 115-117). Au sommet, qui s'élève à 3 300 pieds, se trouve un cratère, dans lequel les vapeurs déposent des masses considérables de soufre. Il

existe au pied une source boueuse, peut-être une salse.

Le volcan el Viejo *, le plus septentrional des 6 volcans alignés; il a été gravi et mesuré en 1838 par le capitaine sir Edward Belcher, qui a obtenu 5216 pieds. Une mesure plus récente faite par Squier a donné 5630 pieds. Ce volcan, très-actif déjà à l'époque de Dampier, est encore allumé aujourd'hui. On voit souvent dans la ville de Léon les éruptions de scories enflammées.

Le volcan Guanacaure, un peu plus au Nord, et en dehors de la rangée volcanique qui va d'*el Nuevo* au *Viejo*, à 3 milles seulement de la côte du golfe de Fonseca.

Le volcan Conseguina *, sur le promontoire qui s'avance à l'extrémité Sud du grand golfe de Fonseca (latit. 12° 50'); il doit sa célébrité à la terrible éruption du 23 janv. 1835, annoncée d'avance par des tremblements de terre. L'obscurité profonde causée par les cendres, analogue à celle qu'a produite quelquefois le même phénomène sur le Pichincha, dura 43 heures. A une distance de quelques pieds, on ne pouvait distinguer des torches allumées; la respiration était génée; on entendait un bruit souterrain, semblable à des détonations d'artillerie, non-seulement à Balize dans la presqu'île de Yukatan, mais encore sur le littoral de la Jamaïque et sur le plateau de Bogota, c'est-à-dire à une hauteur de plus de 8 000 pieds au-dessus de la mer et à une distance de près de 140 milles géographiques (voy. Juan Galindo, dans l'*American Journal* de Silliman, t. XXVIII, 1835, p. 332-336; Acosta, *Viajes á los Andes*, 1849, p. 56, et Squier, t. III, p. 110 113, et pour le dessin, p. 163 et 165). Darwin (*Journal of researches during the voyage of the Beagle*, 1845, c. 14, p. 291) attire l'attention sur une coïncidence assez remarquable : après un long silence, le volcan Conseguina, dans l'Amérique centrale, les volcans Aconcagua et Corcovado, dans le Chili (lat. austr. 32° 3/4 et 43° 1/3), sont entrés en éruption le même jour. Cette coïncidence est-elle fortuite?

Le volcan de Conchagua ou d'Amalapa, à l'entrée septen-

trionale du golfe de Fonseca, en face du volcan Conseguina, près du beau *Puerto de la Union*, qui sert de port à la ville de San Miguel.

Les vingt volcans disposés en file serrée suivent donc la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, à partir de l'État de Costa-Rica jusqu'au volcan de Conchagua; mais en entrant dans l'État de San-Salvador, qui, sur une étendue en longueur de 40 milles seulement, compte cinq volcans plus ou moins actifs, la rangée prend, comme la côte du Pacifique, la direction de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest, presque celle de l'Est à l'Ouest; pendant que la côte orientale qui borde la mer des Antilles se gonfle subitement d'une manière sensible dans l'État d'Honduras et de los Mosquitos, vers le cap de *Gracios á Dios* (voy. plus haut, p. 301). La direction primitive et générale, Nord 45° Ouest, ne recommence que vers la Lagune d'Atitlan, à partir des hauts volcans qui depuis la vieille ville de Guatemala se succèdent dans la direction du Nord, comme nous l'avons déjà fait remarquer, jusqu'à ce que la direction anomale de l'Est à l'Ouest reparaisse de nouveau, à Chiapa et dans l'isthme de Tehuantepec; mais cette fois elle est tracée par des chaînes non volcaniques.

L'État de San-Salvador renferme, outre le Conchagua, les quatre volcans dont les noms suivent :

Le volcan de San-Miguel Bosotlan * (latit. 13° 35′), près de la ville du même nom. C'est le cône trachytique le plus beau et le plus régulier qui existe, si l'on excepte l'îlot volcanique d'Ometepec, dans le lac de Nicaragua (Squier, t. II, p. 196). Les forces volcaniques sont très-actives dans le Bosotlan; il a eu une grande éruption de lave le 20 juillet 1844.

Le volcan de San-Vicente*, à l'ouest du Rio de Lempa, entre les villes de Sacatecoluca et de Sacatelepe. Il a rejeté, d'après Juarros, une grande quantité de cendres en 1643. Dans le mois de janvier 1835, il a eu une longue éruption accompagnée d'un tremblement de terre qui a fait beaucoup de ravages dans la contrée.

Le volcan de San-Salvador (latit. 13° 47′), près de a ville du même nom. La dernière éruption a eu lieu en 1656. Tout le pays est exposé à de violents tremblements de terre; celui du 16 avril 1854, qui n'avait été précédé par aucun bruit, a renversé presque toutes les maisons de San-Salvador.

Le volcan d'Izalco *, près du village du même nom, produit souvent du sel ammoniac. La première éruption dont l'histoire ait gardé le souvenir date du 23 février 1770; les dernières, dont les flammes furent vues à une grande distance, se produisirent en avril 1798, de 1805 à 1807 et en 1825 (voy. plus haut, p. 293 et Thompson, *Official visit to Guatemala*, 1829, p. 512).

Le volcan de Pacaya * (latit. 14° 23′), à 3 milles environ au sud-est de la nouvelle ville de Guatemala, sur le petit lac alpin d'Amatitlan. Ce volcan très-actif, et qui lance souvent des flammes, a une croupe allongée, surmontée de trois sommets arrondis. On connaît les grandes éruptions de 1565, 1651, 1671, 1677 et 1775; la dernière, qui a donné beaucoup de lave, a été vue et décrite par Juarros.

Suivent, par 14° 12′ de latitude, à proximité des côtes, les deux volcans de l'ancienne Guatemala, avec les noms bizarrement rapprochés de *Agua* et de *Fuego*.

Le volcan *de Agua*, cône trachytique situé près d'Escuintla, est plus élevé que le pic de Ténériffe; il est entouré de masses d'obsidienne qui peut-être témoignent d'anciennes éruptions. Ce volcan, dont le sommet s'élève jusque dans la région des neiges perpétuelles, doit son nom à cette circonstance qu'on lui a attribué un désastre, occasionné peut-être par un tremblement de terre et par la fonte des neiges, l'inondation de la première ville de Guatemala, à laquelle a succédé la seconde, située au nord-nord-ouest de la précédente, et désignée maintenant sous le nom de *Antigua Guatemala*.

Le volcan *de Fuego* *, situé près d'Acatenango, à cinq milles Ouest-Nord-Ouest du volcan d'*Eau*. Sur la situation réciproque de ces deux montagnes, voyez une carte fort rare,

gravée à Guatemala, d'où elle m'a été envoyée, la carte de l'*Alcalde mayor* Don José Rossi y Rubi, publiée sous ce titre : *Bosquejo del espacio que media entre los estremos de la provincia de Suchitepeques y la capital de Guatemala*, 1800. Le volcan de Fuego est toujours allumé, mais moins qu'autrefois. Les grandes éruptions ont eu lieu en 1581, 1586, 1623, 1705, 1710, 1717, 1732, 1737 et 1799. Ce ne sont pas ces éruptions, mais plutôt les effroyables tremblements de terre dont elles étaient accompagnées qui, dans la deuxième moitié du dernier siècle, ont décidé le gouvernement espagnol à déserter l'emplacement de la seconde ville, où se trouvent maintenant les ruines de *la Antigua Guatemala*, et à forcer les habitants de se fixer plus au Nord, dans la ville *Santiago de Guatemala*. A ce propos, comme lorsqu'il s'agissait de transporter ailleurs Riobamba et d'autres villes rapprochées des volcans de la chaîne des Andes, on a discuté dogmatiquement et avec une grande vivacité la question de savoir quel était l'emplacement qui, d'après les expériences faites jusque-là, semblait le moins exposé aux ravages des volcans, aux coulées de lave, aux éruptions de scories et aux tremblements de terre. Le volcan de Fuego a déversé un torrent de lave vers le littoral du Sud, lors de la grande éruption de 1852. Le capitaine Basil Hall a mesuré, de son navire, les deux volcans de l'ancienne Guatemala, et a trouvé, pour le volcan *de Fuego*, 13 760 pieds, et, pour le volcan *de Agua*, 13 983. Poggendorff a examiné les bases de ces résultats, et réduit la moyenne hauteur des deux volcans à 12 300 pieds environ.

Le volcan de Quesaltenango*, à côté de la ville du même nom, par 15° 10′ de latitude, est enflammé et fumant depuis 1821. Les trois montagnes coniques qui limitent au Sud le lac alpin d'Atitlan, dans le nœud de montagnes de Solola, sont, dit-on, également allumées. Le volcan que Juarros appelle volcan de Tajamulco ne me paraît pas être identique avec celui de Quesaltenango, qui est à 10 milles géographiques,

dans la direction du Nord-Ouest, du village de Tajamulco, situé lui-même au Sud de Tejutla.

Que sont les deux montagnes appelées par Funel volcan de Sacatepeques et volcan de Sapotitlan, le *volcan de Amilpas* de Brué?

Le grand volcan de Soconusco, situé sur la frontière de Chiapa, 7 milles au sud de Ciudad Real, par 16° 2′ de latitude.

Je crois devoir répéter encore une fois, à la fin de cette longue note, que les hauteurs barométriques indiquées ici sont empruntées en partie à Espinache, en partie aux travaux et aux cartes de Baily, de Squier et de Molina.

(75) [page 305]. On peut considérer avec vraisemblance comme des volcans plus ou moins actifs aujourd'hui les dix-huit volcans qui suivent; par conséquent, presque la moitié de ceux que j'ai cités comme ayant donné des témoignages d'activité dans l'antiquité ou de nos jours.

L'Irasu et le Turrialva, près de Cartago; *el Rincon de la Vieja*, le Votos (?) et l'Orosi; le volcan insulaire d'Ometepec, le Nindiri, le Momotombo, el Nuevo, au pied de la montagne trachytique de las Pilas; le Telica, el Viejo, Conseguina, San-Miguel Bosotlan, San-Vicente, l'Izalco, le Pacaya, le volcan de Fuego, près de l'ancienne Guatemala, et le Quesaltenango. Les plus récentes éruptions ont été celle de *el Nuevo*, près de *las Pilas*, le 18 avril 1850; celle de San-Miguel Bosotlan, en 1848; de Conseguina et de San-Vicente, en 1835; de l'Izalco, en 1825; du volcan de Fuego, en 1799 et 1852, et du Pacaya, en 1775.

(76) [page 305]. Voy. Squier, *Nicaragua*, t. II, p. 103, 106 et 111, et la petite brochure du même auteur publiée antérieurement : *on the Volcanos of Central America*, 1850, p. 7, ainsi que Léopold de Buch, *Iles Canaries*, p. 506, où est cité le torrent de lave rejeté en 1775 du Nindiri, et revu de nou-

veau tout récemment par un observateur très-instruit, le docteur Œrsted.

(77) [page 308]. On peut voir toutes les bases de ces déterminations topographiques du Mexique, comparées avec les observations de don Joaquin Ferrer, dans mon *Recueil d'Observations astronomiques*, t. II, p. 521, 529 et 536-550; et *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne,* t. I, p. 55-59 et 176; t. II, p. 173. J'ai élevé moi-même, de bonne heure, des doutes sur le lieu astronomique du volcan de Colima, voisin des côtes de l'Océan Pacifique. (*Essai polit.*, t. I, p. 68; t. II, p. 180.) D'après des angles de hauteur mesurés en mer par le capitaine Basil Hall, le volcan serait situé par 19° 36′ de latitude, c'est-à-dire un demi degré de plus vers le Nord que je n'avais indiqué d'après des itinéraires; il est vrai que je n'avais pas déterminé d'une manière absolue Selagua et Petatlan, que j'avais pris pour points de départ. La latitude que j'ai donnée dans le texte (19° 25′), ainsi que la hauteur (11 266 p.), sont du capitaine Beechey (*Voyage,* 2ᵉ part., p. 587). La dernière carte de Laurie, *the Mexican and Central States of America,* 1853, indique pour la latitude 19° 20′. Je puis, du reste, m'être trompé de 2 à 3 minutes sur l'emplacement du Jorullo, parce que j'étais absorbé par des travaux géologiques et topographiques, et que je fus forcé de déterminer les latitudes sans que le soleil ni les étoiles se montrassent. Voy. Basil Hall, *Journal written on the coast of Chili, Peru and Mexico,* 1824, t. II, p. 379; Beechey, *Voyage,* 2ᵉ part., p. 587, et Humboldt, *Essai politique,* t. I, p. 68; t. II, p. 180. D'après les vues fidèles et très-pittoresques que Maurice Rugendas a esquissées du volcan de Colima, et qui sont conservées dans le musée de Berlin, on distingue deux montagnes très-rapprochées : le volcan proprement dit, qui laisse toujours échapper de la fumée et se couvre de peu de neige, et la Nevada plus élevée, qui pénètre très-avant dans la région des neiges éternelles.

(78) [page 313]. Voici les déterminations de longitude et de latitude relatives aux cinq rangées volcaniques de la chaîne des Andes, et les intervalles qui séparent les groupes : ces distances font connaître la proportion qui existe entre les terrains volcaniques et les terrains non volcaniques.

I. Groupe des volcans mexicains. — La faille sur laquelle sont soulevés ces volcans se dirige de l'Est à l'Ouest, depuis l'Orizaba jusqu'au Colima, sur une longueur de 98 milles géographiques, entre 19° et 19° 20′ de latitude. Le volcan isolé de Tuxtla est plus éloigné vers l'Est de 32 milles que l'Orizaba ; il est situé près de la côte du grand golfe mexicain, sur un cercle parallèle (18° 28′) plus rapproché du Sud d'un demi degré.

II. La distance entre le groupe mexicain et le groupe de l'Amérique centrale qui lui succède immédiatement, c'est-à-dire entre le volcan d'Orizaba et celui de Soconusco est, dans la direction de l'Est-Sud-Est à l'Ouest-Nord-Ouest, de 75 milles.

III. Groupe des volcans de l'Amérique centrale. — Cette ligne volcanique, dirigée du Sud-Est au Nord-Ouest, a plus de 170 milles, depuis le volcan de Soconusco jusqu'à Turrialva, dans la province de Costa-Rica.

IV. La distance entre le groupe de l'Amérique centrale et la rangée volcanique de la Nouvelle-Grenade et de Quito est de 157 milles.

V. Groupe des volcans de la Nouvelle-Grenade et de Quito. — Sa longueur, à partir du point où s'est produite une éruption sur le Paramo de Ruiz, au nord du volcan de Tolima, jusqu'au volcan de Sangay, est de 118 milles. La partie de la chaîne des Andes, comprise entre le volcan de Puracé, près de Popayan, et la partie sud du nœud volcanique de Pasto, est dirigée du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest. Bien loin à l'est des volcans de Popayan, près des sources du Rio-Fragua, se trouve un volcan isolé, dont j'ai marqué la place, d'après les indications des missionnaires de Timana, sur ma Carte générale des Cordillères de l'Amérique méridionale. La dis-

tance de cette rangée volcanique aux côtes de la mer est de 38 milles.

VI. Entre le groupe volcanique de la Nouvelle-Grenade et de Quito, et le groupe du Pérou et de la Bolivie, la distance est de 240 milles. C'est la plus longue chaîne qui existe sans volcans.

VII. Groupe de la rangée volcanique du Pérou et de la Bolivie. — Ce groupe présente, depuis le volcan de Chacani et Arequipa (latit. 16° 1/4) jusqu'au volcan d'Atamaca (21° 1/2), une étendue de 105 milles.

VIII. La distance entre le groupe du Pérou et de la Bolivie, et le groupe du Chili, est de 135 milles. Il ne se trouve aucun cône volcanique dans la longue Cordillère qui court à l'ouest des deux provinces de Catamarca et de Rioja, à partir de la partie du désert d'Atacama, au bord de laquelle s'élève le volcan de San-Pedro, jusque loin au-delà de Copiapo, et même jusqu'au volcan de Coquimbo (30° 5').

IX. Groupe de Chili. Distance du volcan de Coquimbo au volcan San-Clemente, 242 milles.

En additionnant ces longueurs des Cordillères et en tenant compte de la courbe produite par le changement de direction dans l'axe, à partir du parallèle des volcans mexicains (19° 1/4 de latit. bor.) jusqu'au volcan de San-Clemente dans le Chili (46° 8' lat. austr.), on obtient, pour une distance de 1 242 milles, un espace de 635 milles, rempli par cinq groupes de volcans alignés (groupes du Mexique, de l'Amérique centrale, de la Nouvelle-Grenade et de Quito, du Pérou et de la Bolivie, et du Chili), et un espace de 67 milles, qui, sans doute, est complétement dépourvu de volcans. Ces deux nombres sont à peu près égaux. J'ai donné ici des proportions numériques très-positives : elles résultent d'une comparaison minutieuse que j'ai faite de mes propres cartes avec celles des autres géographes, afin de provoquer des rectifications. La partie la plus longue des Cordillères qui n'a point de volcans est comprise entre le groupe de la Nouvelle-Grenade et de Quito, et celui

du Pérou et de la Bolivie. Elle se trouve, par hasard, égale à celle que couvrent les volcans du Chili.

(79) [page 314]. Le groupe des volcans mexicains * comprend l'Orizaba, le Popocatepetl *, le Toluca ou *Cerro de San-Miguel de Tutucuitlapilco*, le Jorullo *, le Colima * et le Tutxla *. Les volcans encore enflammés sont désignés ici, comme on l'a fait déjà dans d'autres listes du même genre, par un astérisque.

(80) [page 314]. Pour les détails relatifs au groupe volcanique de l'Amérique centrale, voy. les notes 74 et 75.

(81) [page 314]. Le groupe de la Nouvelle-Grenade et de Quito comprend : le *Paramo y Volcan de Ruiz* *, les volcans de Tolima, Puracé * et Sotará, près de Popayan ; le volcan del Rio-Fragua, l'un des affluents du Caqueta ; les volcans de Pasto, el Azufral *, le Cumbal *, le Tuquerres *, le Chiles, l'Imbaburu, le Cotocachi, le Rucu-Pichincha, l'Antisana (?), le Cotopaxi *, le Tungurahua *, le Capac-Urcu ou *Altar de los Collanes* (?) et le Sangay *.

(82) [page 314]. Le groupe du Pérou méridional et de la Bolivie comprend, du Nord au Sud, les 14 volcans suivants :

Le volcan de Chacani, appelé aussi Charcani, d'après Curzon et Meyen ; il appartient au groupe d'Arequipa, et on l'aperçoit de la ville de ce nom. Il est situé sur la rive droite du Rio-Quilca, par 16° 11′ de latit., d'après l'explorateur le plus exact de cette contrée, Pentland, et à 8 milles au sud du Nevado de Chuquibamba, dont la hauteur dépasse, dit-on, 18 000 pieds. J'ai entre les mains des renseignements inédits, qui attribuent au volcan de Chacani 18 391 pieds de hauteur. Curzon a vu un grand cratère dans la partie sud-est du sommet.

Le volcan d'Arequipa *, situé par 16°20′ de latit., à 3 milles de la ville, dans la direction du Nord-Est. Sur la hauteur de

ce volcan (17 714 pieds?), comp. *Cosmos*, t. IV, p. 284 et 657 (note 52). Thaddæus Hænke, le botaniste de l'expédition de Malaspina (1796); Samuel Curzon des États-Unis (1811) et le docteur Weddell (1847) sont parvenus jusqu'au sommet de l'Arequipa. Meyen a vu, en août 1831, s'élever de grandes colonnes de fumée; un an auparavant, le volcan avait eu une éruption de scories, mais il n'a jamais vomi de lave. Voy. Meyen, *Reise um die Erde*, 2e part., p. 33.

Le volcan d'Omato : latit., 16° 50'; il a eu une forte éruption en 1667.

Le volcan d'Uvillas ou Uvinas, au sud d'Apo. Ses dernières éruptions datent du XVIe siècle.

Le volcan de Pichu-Pichu, situé par 16° 25' de latit., à 4 milles vers l'Est de la ville d'Arequipa, près du passage Cangallo; haut. 9076 pieds au-dessus de la mer.

Le volcan Viejo : latit., 16° 55'. Ce volcan possède un cratère immense, avec des coulées de lave et beaucoup de pierres ponces.

Les 6 volcans qui précèdent forment le groupe d'Arequipa.

Le volcan de Tacora ou Chipicani : latit., d'après la belle carte du lac Titicaca par Pentland, 17° 45'; haut., 18520 pieds.

Le volcan de Sahama * : latit., 18° 7'; haut., 20970 pieds. Ce volcan a la forme d'un cône tronqué parfaitement régulier (voy. *Cosmos*, t. IV, p. 284, et note 54). Le Sahama est, d'après Pentland, de 870 pieds plus haut que le Chimborazo, mais de 6 240 pieds inférieur au Mont Everest de l'Himalaya, qui passe maintenant pour le sommet le plus élevé de l'Asie. Le dernier rapport officiel du colonel Waugh, daté du 1er mars 1856, mentionne, comme les quatre montagnes les plus hautes de la chaîne de l'Himalaya : Le Mont Everest (Gaurischanka), au nord-est de Katmandu, haut., 27 210 pieds; le Kuntschinjinga, au nord de Darjiling, 26 417 p.; le Dhaulagiri (Dhavalagirir), 25 170 p., et le Tschumalari (Chamalari), 22 468 p.

Le volcan Pomarape : haut., 20 360 pieds; latit., 18° 8′. Cette montagne forme presque une montagne jumelle avec le volcan qui la suit immédiatement.

Le volcan Parinacota : haut., 20 670 pieds; latit., 18° 12′.

Le groupe des quatre cônes trachytiques : Sahama, Pomarape, Parinacota et Gualatieri, compris entre les parallèles de 18° 7′ et de 18° 25′, est, d'après les calculs trigonométriques de Pentland, plus haut que le Chimborazo, et dépasse 20 100 pieds.

Le volcan Gualatieri * : haut., 20 604 pieds; latit., 18° 25′, dans la province bolivienne de Carangas; il est, d'après Pentland, en grande activité (voy. *Hertha*, t. XIII, 1829, p. 21).

Non loin du groupe de Sahama, entre 18° 7′ et 18° 25′, la rangée volcanique disposée à l'ouest de la chaîne des Andes et toute la chaîne elle-même changent brusquement d'allure, et quittent la direction du Sud-Est au Nord-Ouest pour prendre celle du Nord au Sud, qui devient la direction générale jusqu'au détroit de Magellan. J'ai traité ailleurs de cet important changement d'axe, qui forme une échancrure dans le littoral près d'Arica (18° 28′), et dont on retrouve un exemple analogue sur la côte occidentale de l'Afrique, dans le golfe de Diafra. Voy. *Cosmos*, t. I, p. 341 et 554 (note 47).

Le volcan Isluga, dans la province de Tarapaca, à l'ouest de Carangas : lat. 19° 20′.

Le volcan de San-Pedro de Atacama, à l'extrémité nord-est du Desierto du même nom, par 22° 16′ de lat., d'après la nouvelle carte spéciale du docteur Philippi, au nord-est et à 4 milles géographiques de la petite ville San-Pedro, non loin du grand Nevado de Chorolque.

Il n'existe pas de volcan de 21° 30′ à 30°. Après cette interruption de plus de 142 milles, l'activité volcanique reparaît dans le volcan de Coquimbo; car Meyen nie l'existence d'un volcan de Copiapo (lat. 27° 28′); elle est cependant attestée par Philippi, très-familier avec cette contrée.

(83) [page 314]. La première impulsion donnée à l'étude géographique et géologique du groupe volcanique du Chili et le succès même de ces études sont dus aux ingénieuses recherches du capitaine Fitz-Roy, dans l'expédition de l'*Adventure* et du *Beagle*, ainsi qu'aux travaux si spirituels et plus complets de Charles Darwin. Darwin, avec le coup d'œil généralisateur qui lui est propre, a rapproché sous un seul point de vue les phénomènes connexes des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. Pendant le grand événement naturel qui a détruit la ville de Copiapo, le 22 novembre 1822, une partie considérable de la côte fut exhaussée, et le phénomène tout à fait semblable du 20 février 1835, qui fut si funeste à la ville de Concepcion, fut accompagné de l'éruption d'un volcan sous-marin qui fit rage durant un jour et demi, près de Bacalao Head, dans l'île de Chiloe. Tous ces effets, dus à des causes analogues, s'étaient déjà produits antérieurement; ils confirment la croyance que la rangée d'îles rocheuses, située au sud de Valdivia et du Fuerte Maullin, en face des Fiords du continent, et qui comprend Chiloe, l'archipel des Chonos et de Huaytecas, la *Peninsula de Tres Montes*, et *las Islas de la Campana, de la Madre de Dios, de Santa Lucia* et de *los Lobos*, depuis 39° 53′ jusqu'à l'entrée du détroit de Magellan (52° 16′), n'est autre chose que la crête déchirée d'une Cordillère située plus à l'Ouest, qui n'a pas complétement disparu sous les flots. Il est vrai que pas un cône de trachyte ouvert au sommet, aucun volcan n'appartient à ces « fractæ ex aequore terræ »; mais des éruptions sous-marines isolées, qui ont précédé ou suivi de puissantes secousses souterraines, paraissent indiquer la présence de cette faille occidentale. Voy. Darwin, *On the connexion of volcanic phænomena, the formation of mountain chains, and the effect of the same powers by which continents are elevated*, dans les *Transactions of the Geological Society*, 2e série, t. V, 3e part., 1840, p. 606-615 et 629-631; Humboldt, *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. I, p. 190, et t. IV, p. 287.

Les vingt-quatre volcans qui forment le groupe du Chili sont rangés, du Nord au Sud, depuis le parallèle de Coquimbo jusqu'à 46° de latitude boréale, dans l'ordre suivant :

1° Entre les parallèles de Coquimbo et de Valparaiso :

Le volcan de Coquimbo : latit., 30° 5′ (voy. Meyen, t. I, p. 385).

Le volcan Limari.

Le volcan Chuapri.

Le volcan Aconcagua*, à l'ouest-nord-ouest de Mendoza : lat., 32° 39′; haut., 21 584 pieds, d'après Kellet (*Cosmos*, t. IV, p. 659, note 54), mais, d'après les mesures trigonométriques les plus récentes, dues à l'ingénieur Amado Pissis (1854), 22 301 pieds anglais seulement ou 20 924 pieds de Paris. L'Aconcagua est un peu moins haut, par conséquent, que le Sahama, auquel Pentland donne actuellement 22 350 pieds anglais (20 970 pieds de Paris). Voy. Gillis, *U. S. Naval Astron. Exped. to Chili*, t. I, p. 13. M. Pissis a développé, dans les *Anales de la Universidad de Chile,* 1852, p. 219, les bases géodésiques de l'opération qu'il a exécutée sur l'Aconcagua, à 6 797 mètres de hauteur, et qui a nécessité huit triangles.

Le *Peak Tupungato*, auquel Gillis donne 22 450 pieds anglais (21 063 pieds de Paris), et qu'il place par 33° 22′ de latit., tandis qu'on trouve sur la carte de la province Santiago, par Pissis, 22 016 pieds anglais (20 655 pieds de Paris). Voy. Gillis, p. 45. Pissis a adopté ce dernier nombre (6 710 mètres), dans les *Anales de Chile,* 1850, p. 12.

2° Entre les parallèles de Valparaiso et de Concepcion :

Le volcan Maypu* : lat., 34° 17′, d'après Gillis (t. I, p. 13), qui cependant, sur sa carte générale du Chili, l'a placé par 33° 47′, ce qui est certainement une erreur; haut., 16 572 pieds. Meyen en a fait l'ascension. La roche trachytique du sommet a percé les couches jurassiques, dans lesquelles Léo-

pold de Buch a reconnu, à des hauteurs de 9,000 pieds, l'Exogyra Couloni, le Trigonia costata et l'Ammonites biplex (*Description physique des îles Canaries,* 1836, p. 471). Il n'existe pas de courants de lave, mais le cratère rejette des flammes et des scories.

Le volcan Peteroa *, à l'est de Talca : lat., 34° 53'; il est souvent allumé, et a eu, d'après la description de Molina, une grande éruption le 3 décembre 1762. L'habile naturaliste Gay l'a visité en 1831.

Le volcan de Chillan : lat., 36° 2'; la contrée avoisinante a été décrite par le missionnaire Havestadt de Munster. Tout près se trouve le Nevado Descabezado (35° 1'), dont Domeyko a fait l'ascension, et que Molina a déclaré à tort la plus haute montagne du Chili. Gillis a évalué sa hauteur à 12290 pieds (13100 pieds anglais). Voy. *U. S. Naval Astron. Expedition,* t. I, p. 16 et 371.

Le volcan Tucapel, à l'ouest de la ville de Concepcion ; on l'appelle aussi *Silla Veluda.* C'est peut-être une montagne de trachyte fermée, en communication avec le volcan actif d'Antuco.

3° Entre les parallèles de Concepcion et de Valdivia :

Le volcan Antuco * : lat., 37° 7'. Pœppig en a donné une description géologique détaillée. C'est un cratère de soulèvement basaltique, d'où s'élève le cône de trachyte. Il a des courants de lave, qui font éruption au pied du cône, et plus rarement au sommet du cratère (Pœppig, *Reise in Chili und Peru,* t. I, p. 364). Un de ces courants coulait encore en 1828. En 1835, le laborieux Domeyko a trouvé le volcan en pleine activité, et a évalué sa hauteur à 8368 pieds seulement (Pentland, dans Mary Somerville, *Phys. Geography,* t. I, p. 186). L'éminent astronome américain Gillis lui donne 8672 pieds, et cite de nouvelles éruptions en 1853. D'après les renseignements que m'a donnés Gillis, un nouveau volcan aurait surgi, le 25 novembre 1847, à l'intérieur de la Cordillère, entre Antuco et

Descabezedo, et aurait formé une colline * de 300 pieds. Domeyko en a vu sortir des éruptions de flammes et de soufre, pendant plus d'un an. Pœppig cite encore deux autres volcans : Punhamuidda * et Unalavquen *, à une grande distance vers l'Est de l'Antuco, dans une des chaînes parallèles des Andes.

Le volcan Callaqui.

Le volcan de Villarica * : lat., 39° 14′.

Le volcan Chiñal : lat., 39° 35′.

Le volcan de Panguipulli * : lat., 40° 45′, d'après le major Philippi.

4° Entre les parallèles de Valdivia et le cap Sud de l'île Chiloe :

Le volcan Ranco.

Le volcan Osorno ou Llanquihue : lat., 41° 9′; haut., 6 984 pieds.

Le volcan de Calbuco *: lat., 41° 12′.

Le volcan Guanahuca (Guanegue ?).

Le volcan Minchimadom : lat., 42° 48′ ; haut., 7 500 pieds.

Le volcan del Corcovado *: lat., 43° 12′ ; haut., 7 046 pieds.

Le volcan Yanteles (Yntales) : lat., 43° 29′; haut., 7 534 pieds.

Sur ces quatre dernières montagnes, voy. Fitz-Roy, *Exped. of the Beagle*, t. III, p. 275, et Gillis, t. I, p. 13.

Le volcan *San-Clemente*, en face de la Péninsule granitique *de Tres Montes*, d'après Darwin : lat., 46° 8′. Dans sa grande carte de l'Amérique méridionale, La Cruz indique un volcan *de los Gigantes*, situé plus au Sud, en face de l'archipel de la *Madre de Dios*, par 51° 4′ de lat., dont l'existence est fort douteuse.

J'ai emprunté la plus grande partie des latitudes qui précèdent à la carte de Pissis, Allan Campbell et Claude Gay, jointe à l'excellent ouvrage de Gillis (1855).

(84) [page 315]. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 88.

(85) [page 316]. Le 24 janvier 1804. Voy. mon *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. I, p. 166.

(86) [p. 318]. Le nœud de montagne de schiste micacé, formé par la jonction de la montagne de los Robles (lat., 2° 2′), et du Paramo de las Papas (lat., 2° 20′), renferme deux lacs alpins, la *laguna de S. Iago* et la *laguna del Buey*, situés à moins d'un mille et demi d'intervalle, et d'où sortent, du premier, le Rio Cauca, du second, le Rio Magdalena. Ces deux fleuves, séparés bientôt par une chaîne centrale, ne se réunissent que sous le parallèle de 9° 27′, dans les plaines de Mompox et de Tenerife. Le nœud de montagne dont nous venons de parler, et qui se trouve entre Popayan, Almaguer et Timana, est d'une grande importance pour résoudre la question de savoir si la chaîne volcanique du Chili, du Pérou, de la Bolivie, de Quito et de la Nouvelle-Grenade se rattache à la chaîne de l'isthme de Panama, et par suite à celle de Veragua, de Costa-Rica et de toute l'Amérique centrale. J'ai montré, dans mes cartes de 1816, 1827 et 1831, dont les systèmes de montagnes ont été reproduits par Brué, dans la belle carte que Joaquin Acosta a donnée de la Nouvelle-Grenade (1847), et dans d'autres cartes, que la chaîne des Andes se divise en trois branches par 2° 10′ de latitude boréale. La Cordillère de l'Ouest court entre la vallée du Rio Cauca et le Rio Atrato, la Cordillère centrale entre le Rio Cauca et le Rio Magdalena, la Cordillère orientale entre la vallée du Rio Magdalena et les Llanos, arrosés par les affluents du Marañon et de l'Orénoque. J'ai pu indiquer la direction spéciale de ces trois Cordillères d'après un grand nombre de points compris parmi les déterminations de lieu astronomiques dont j'ai fixé 152 dans l'Amérique du Sud seulement, par des culminations d'étoiles.

La Cordillère occidentale court à l'Est du Rio Dagua et à l'ouest de Cazeres, de Roldanilla, de Toro et d'Anserma, voisin de Cartago, dans la direction du Sud-Sud-Ouest au Nord-Nord-Est, qu'elle conserve jusqu'au *Salto de San-Antonio*, dans le Rio Cauca (lat., 5° 14'), au sud-ouest de la *Vega de Supia*. De là, jusqu'à l'*Alto del Viento*, qui s'élève à 9 000 pieds, dans la *Cordillera de Abibe ou Avidi* (lat. 7° 12'), la chaîne grandit considérablement en hauteur et en largeur, et se confond enfin avec la Cordillère centrale, dans la province Antioquia. Plus au Nord, vers les sources du Rio Lucio et du Rio Guacuba, la chaîne s'abaisse et se divise en plusieurs rangées de collines. La Cordillère occidentale, qui, près de l'endroit où le Dagua se jette dans la *Bahia de San-Buenaventura*, est tout au plus à 8 milles des côtes du Pacifique (lat., 3° 50'), en est séparée par une distance double sous le parallèle de Quibdo, dans la province de Choco (lat., 5° 48'). Cette remarque n'est pas sans quelque importance, parce qu'il ne faut pas confondre la chaîne occidentale des Andes avec le pays montagneux et la chaîne de collines qui traverse du Sud au Nord, à partir de Novita et de Tado, cette province si riche en lavages d'or, entre la rive droite du Rio San-Juan et la rive gauche du grand Rio Atrato. C'est à travers cette rangée insignifiante de collines que passe, dans la *Quebrada de la Raspadura*, le canal du Moine, qui unit le Rio San-Juan ou Noanama et le Rio Quibdo, l'un des affluents de l'Atrato, et par suite deux océans (Humboldt, *Essai politique*, t. I, p. 235). C'est elle aussi qui a été vue dans la fructueuse expédition le capitaine Kellet, entre la *Bahia de Cupica* (lat., 6° 42'), que j'avais pendant si longtemps vantée en vain, et les sources du Napipi, qui se jette dans l'Atrato. Comp. *Ibid.*, t. I, p. 231, et Robert Fitz-Roy, *Considerations on the great Isthmus of Central America*, dans le *Journal of the Royal Geogr. Society*, t. XX, 1851, p. 178, 180 et 186.

La chaîne centrale des Andes (*Cordillera central*), qui

touche à la région des neiges perpétuelles, et reste continuellement la plus haute, suit dans tout son parcours une direction presque méridienne, comme la chaîne occidentale, et commence à 8 ou 9 milles au nord-est de Popayan, avec les Paramos de Guanacos, de Huila, d'Iraca et de Chinche. Plus loin, entre Buga et Chaparral, s'élèvent, du Sud au Nord, le dos allongé du *Nevado de Baraguan* (lat., 4° 11'), la *Montaña de Quindiu*, le cône tronqué de Tolima, couvert de neige, le volcan et le *Paramo de Ruiz*, et la *Mesa de Herveo*. Ces hautes solitudes, à l'aspect âpre et montagneux, que les Espagnols ont appelées *Paramos*, sont caractérisées par une température et par une végétation particulières; elles sont situées dans la partie des tropiques que je décris ici, et je me suis assuré, par des opérations souvent répétées, qu'elles ont une hauteur moyenne de 9 500 à 11 000 pieds au-dessus de la mer. Sous le parallèle de Mariquita, de la *Mesa de Herveo* et du *Salto de San-Antonio*, dans la vallée de Cauca, commence la jonction de la chaîne centrale et de la chaine occidentale. C'est près de Supia, entre le *Salto de San-Antonio*, d'une part, et de l'autre, l'*Angostura* et la *Cascada de Caramanta*, que cette confusion produit les effets les plus frappants. Là se trouve le plateau de la province Antioquia, dont l'accès est si difficile, et qui, d'après Manuel Restrepo, s'étend de 5° 15' jusqu'à 8° 34'. Nous distinguerons sur ce plateau les points culminants qui suivent : en allant du Sud au Nord, Arma, et Sonson; au nord des sources du Rio Samana, Marinilla, Rio Negro (6 420 pieds) et Medellin (4 548 pieds); le plateau de Santa-Zosa (7 944 pieds), et le *Valle de Osos*. La chaîne proprement dite disparaît au delà de Cazeres et de Zaragoza, vers le confluent du Cauca et du Nechi. Le versant oriental des *Cerros de San-Lucar*, que j'ai vu de Badillas (lat., 8° 1') et de Paturia (lat., 7° 36'), en faisant le relevé des côtes sur le Rio Magdalena, n'est remarquable que par le contraste qu'il forme avec la large vallée du fleuve.

La Cordillère orientale présente cette particularité géolo-

gique que non-seulement elle forme une limite entre tout le système septentrional de la Nouvelle-Grenade et les basses terres, d'où les eaux se rendent en partie dans le fleuve des Amazones par le Caguan et le Caqueta, en partie à l'Orénoque par le Guaviare, le Méta et l'Apure; mais que de plus elle se relie très-distinctement à la chaîne côtière de Caracas. Il se produit là quelque chose d'analogue à ce qui se passe dans les systèmes des filons, c'est-à-dire une conjonction de nœuds soulevés sur deux failles de directions très-différentes et probablement aussi à des époques très-différentes. La Cordillère orientale s'éloigne beaucoup plus que les deux autres de la direction méridienne; elle dévie vers le Nord-Est, de sorte que, dans les montagnes neigeuses de Mérida (lat., 8° 10'), elle se trouve déjà de 5 degrés plus à l'Est qu'à sa sortie du nœud de montagne de los Robles, près de Ceja et de Timana. Au nord du *Paramo de la Suma Paz,* à l'est de la Purificacion et sur le versant occidental du Paramo de Chingaza, s'élève, au-dessus d'une forêt de chênes, à la hauteur de 8 220 pieds seulement, le plateau de Bogota, d'un bel aspect, mais sévère et dépouillé d'arbres (lat., 4° 36'). Le plateau de Bogota a environ 18 milles géographiques carrés, et sa situation présente une analogie frappante avec celle du bassin de Kaschmir, qui cependant, d'après Victor Jacquemont, est moins élevé de 3 200 pieds sur le bord du lac Wuller, et qui appartient au versant sud-ouest de la chaîne de l'Himalaya. Après le plateau de Bogota et le Paramo de Chingaza se succèdent, dans la Cordillère orientale des Andes, suivant la direction du Nord-Ouest : les Paramos de Guachaneque, au-dessus de Tunja; de Zoraca, au-dessus de Sogamoso; de Chita (15 000 p. ?), près des sources du Rio Casanare, un des affluents du Meta; de l'Almorzadero (12 060 p.), près de Socorro; de Cacota (10 308 p.), près de Pamplona; de Laura et de Porquera, près de la Grita. C'est en ce lieu, entre Pamplona, Salazar et Rosario (7° 8'-7° 50' de lat.), que se trouve le petit nœud montagneux d'où se détache une crête qui se dirige du

Sud au Nord, vers Ocaña et *Valle de Upar*, à l'ouest de la Laguna de Maracaibo, pour se relier aux promontoires de la *Sierra Nevada de Santa Marta* (18 000 p.?). La crête, devenue plus élevée et plus puissante, reprend sa direction première vers le Nord-Est, du côté de Merida, de Truxillo et de Barquisimeto, et se réunit à la chaîne granitique qui borde la côte de Venezuela, à l'est de la Laguna de Maracaibo, et à l'ouest de Puerto Cabello. A partir de la Grita et du *Paramo de Porquera*, la Cordillère orientale atteint de nouveau et tout d'un coup une hauteur extraordinaire. Entre les parallèles de 8° 5′ et 9° 7′, on rencontre successivement la *Sierra Nevada de Merida* (Mucuchies), explorée par Boussingault, et que Codazzi a mesurée trigonométriquement (14 136 p.), et les quatre Paramos *de Timotes Niquitao, Boconó* et *de las Rosas,* où s'épanouissent en abondance les plus belles plantes alpines (voy. Codazzi, *Resúmen de la Geografia de Venezuela,* 1841, pl. 12 et 495, et, sur la hauteur des neiges éternelles dans cette zone, mon *Asie centrale,* t. III, p. 258-262.) L'activité volcanique manque complétement à la Cordillère de l'Ouest; elle se manifeste dans la Cordillère centrale jusqu'au Tolima et au Paramo de Ruiz, qui cependant sont séparés du volcan de Puracé par 3 degrés de latitude. La Cordillère de l'Est a une colline fumante près de son versant oriental, à la source du Rio Fragua, au nord-est de Mocoa et au sud-est de Timana. Cette colline est plus éloignée du littoral de l'océan Pacifique qu'aucun autre volcan actif du Nouveau Continent. Une connaissance exacte des relations locales entre les volcans et les ramifications des chaînes de montagnes est de la plus haute importance pour les progrès de la géologie des volcans. Toutes les anciennes cartes, à l'exception de celles du plateau de Quito, ne pouvaient qu'induire en erreur.

(87) [page 319]. Voy. Pentland, dans Mary Somerville, *Phys. Geography,* 1851, t. I, p. 185. Le pic de Vilcanoto (haut., 15 970 p.; latit., 14° 28′) situé, suivant la direction de l'Est à

l'Ouest, dans le puissant nœud de montagnes qui porte le même nom, forme l'extrémité nord du plateau, sur lequel se trouve le lac de Titicaca, petite mer intérieure longue de 22 milles géographiques.

(88) [page 321]. Comp. Darwin, *Journal of researches into the Natural History and Geology during the voyage of the Beagle,* 1845, p. 275, 291 et 310.

(89) [page 322]. Junghuhn, *Java,* t. I, p. 79.

(90) [page 323]. *Ibid.*, t. III, p. 155, et Gœppert, *die Tertiärflora auf der Insel Java nach den Entdeckungen von Fr. Junghuhn,* 1854, p. 17. L'absence de monocotylédonées ne se remarque que parmi les troncs d'arbres pétrifiés, épars à la surface du sol, et principalement dans les rivières de la régence de Bantam. Dans les couches de houilles souterraines se trouvent des restes de bois de palmier qui appartiennent aux deux genres Flabellaria et Amesoneuron. Voy. Gœppert, *ibid.*, p. 31 et 35.

(91) [page 324]. Sur la signification du mot *Méru* et sur les conjectures que m'a communiquées Burnouf touchant la parenté de ce mot avec *mîra*, mot sanscrit qui signifie *mer*, voy. l'*Asie centrale,* t. I, p. 114-116, et Lassen, *Indische Alterthumskunde,* t. I, p. 847. Lassen est disposé à nier l'origine sanscrite de ce mot.

(92) [page 324]. *Cosmos,* t. IV, p. 274 et 648 (note 13).

(93) [page 325]. *Gunung* signifie *montagne* dans la langue de Java; on dit en malais *gûnong*. Il est assez remarquable que ce mot ne soit pas répandu davantage sur le vaste territoire où sont en usage des langues dérivées du malais. On peut voir à ce sujet la table comparative insérée dans l'ouvrage de mon frère sur la langue kawi (t. II, p. 249, n° 62).

(94) [page 325]. Léop. de Buch *Description physique des îles Canaries,* 1836, p. 419. L'île de Java (Junghuhn, 1re part.

p. 61, et 2e part., p. 547) ne possède pas seule un colosse, le Semeru, haut de 11 480 p., et par conséquent un peu plus élevé que le pic de Ténériffe; on attribue au pic encore actif d'Indrapoura, dans l'île de Sumatra, une hauteur de 11 500 p.; ce volcan, du reste, paraît avoir été mesuré avec moins d'exactitude (voy. *ibid.*, t. I, p. 78, et comp. le profil n° 1.) Après le pic d'Indrapoura viennent, dans l'île de Sumatra, l'un des sommets du mont Ophir, le Telaman, qui a non pas 12980, mais seulement 9010 pieds, et le Mérapi, qui en a 8 980, d'après le docteur Horner. Le Mérapi est le plus actif des treize volcans de Sumatra, mais il ne faut pas le confondre avec les deux volcans javanais du même nom : le célèbre Mérapi, près d'Iogjakerta (8 640 p.), et le Mérapi qui forme la partie orientale du sommet de l'Idjen (8 065 p.). Voy. *ibid.*, t. II, p. 294, et Junghuhn, *Battaländer,* 1847, t. I, p. 25. On croit reconnaître dans le mot Mérapi le nom sacré de Mêru, combiné avec le mot malais et javanais *api,* qui signifie *feu.*

(95) [page 325]. Junghuhn, *Java,* t. I, p. 80.

(96) [page 326]. Voy. Jos. Hooker, *Sketch-Map of Sikhim,* 1850, et dans son *Himalaya Journals* (t. I, 1854), *Map of part of Bengal;* comp. aussi Strachey, *Map of West-Nari,* dans sa *Physical Geography of Western Tibet,* 1853.

(97) [page 327]. Junghuhn, *Java,* t. II, fig. 9, p. 572, 596 et 601-604. Le petit cratère du Bromo a donné passage à huit éruptions enflammées, de 1829 à 1848. Le cratère-lac qui avait disparu en 1842 s'est reformé en 1848; mais, d'après les observations de B. de Herwerden, la présence de l'eau dans le gouffre en forme de cuve n'aurait point empêché que des scories ignées aient été projetées au loin.

(98) [page 327]. Junghuhn, *Java,* t. II, p. 624-641.

(99) [page 328]. Reinwardt, en 1819, et Junghuhn, en 1837, ont fait l'ascension du Gunung-Pepandajan. Junghuhn,

qui a examiné minutieusement le champ de blocs de lave dont la montagne est entourée, et a comparé sur les lieux les plus anciennes relations, croit exagéré le récit accrédité par un grand nombre d'ouvrages estimables, d'après lequel une partie de la montagne et une étendue de plusieurs milles carrés auraient été engloutis pendant l'éruption de 1772. Voy. Junghuhn, *Java*, t. II, p. 98 et 100.

(100) [page 328]. *Cosmos*, t. IV, p. 206 et 617 (note 36); *Voyage aux régions équinoxiales*, t. II, p. 16.

(1) [page 330]. Junghuhn, *Java*, t. II, p. 241-246.

(2) [page 330]. *Ibid.*, p. 566, 590 et 607-609.

(3) [page 330]. Léop. de Buch., *Physische Beschreibung der canarischen Inseln*, p. 206, 218, 248 et 289.

(4) [page 331]. Les mots *barranco* et *barranca* ont le même sens et sont assez usités dans l'Amérique espagnole. Proprement ils signifient les sillons ou les crevasses creusées par les eaux, « *la quiebra que hacen en la tierra las corrientes de las aguas; — una torrente que hace barrancas* »; mais ils signifient aussi une crevasse quelconque. Il est douteux que le mot *barranca* doive se rattacher au mot *barro* qui signifie *argile, terre glaise humide, boue.*

(5) [page 331]. Lyell, *Manual of elementary Geology*, 1855, c. XXIX, p. 497. Ce qui offre l'analogie la plus frappante avec les stries régulières des volcans de Java, c'est la surface du manteau de la Somma, sur le Vésuve, dont les 70 sures ont été heureusement expliquées par un observateur très-sagace et très-exact, l'astronome Jules Schmidt (*die Eruption des Vesuvs im Mai* 1855, p. 101-109). D'après Léop. de Buch, ces sillons n'ont pas été originairement formés par les pluies; ce ne sont pas des *fiumare*. Ils datent du premier soulèvement des volcans, et sont dus à l'étoilement du sol qui éclate.

La disposition des éruptions latérales, qui le plus souvent rayonnent autour de l'axe des volcans, paraît être en relation avec ce phénomène.

(6) [page 331]. « L'obsidienne, et par conséquent les pierres ponces sont aussi rares à Java que le trachyte lui-même. Un autre fait très-curieux, c'est l'absence de toute coulée de lave dans cette île volcanique. M. Reinwardt, qui lui-même a observé un grand nombre d'éruptions, dit expressément qu'on n'a jamais eu d'exemples que l'éruption la plus violente et la plus dévastatrice ait été accompagnée de laves. » (Léop. de Buch, *Description des Iles Canaries*, p. 419). D'après les échantillons de roches volcaniques rapportés de Java, par Junghuhn, et offerts au Cabinet minéralogique de Berlin, on reconnaît très-distinctement des trachytes dioritiques, composés d'oligoclase et de hornblende, sur le Burungagung (p. 255 du catalogue de Leyde), à Tjinas (p. 232) et sur le Gunung-Parang, situé dans le district de Batu-gangi. Cette formation est donc identiquement la même que celle des volcans d'Orizaba et de Toluca au Mexique, de l'île Panaria dans le groupe de Lipari, et de celle d'Égine dans la mer Égée.

(7) [page 332]. Junghuhn, *Java*, t. II, p. 309 et 314. Les bandes enflammées que l'on a vues sur le Gunung Mérapi étaient formées par des courants pressés de scories ou traînées de fragments, par des masses désagrégées, qui découlaient du même côté, et, étant loin d'avoir la même pesanteur, se heurtaient sur le versant escarpé de la montagne. Le 26 mars 1817, dans l'éruption du Lamongan, une de ces bandes de scories parvenue à 100 pieds au-dessous de son point de départ s'est divisée en deux bras. « Cette coulée, dit expressément Junghuhn (t. II, p. 767), ne se composait pas de lave fondue, mais de débris de lave étroitement serrés les uns contre les autres. Le Gunung-Lamongan (5010 pieds) et le Gunung-Semeru (11 480 pieds) sont, malgré la différence des hauteurs, les

deux volcans javanais les plus semblables, par leur longues périodes d'activité, au Stromboli, qui n'a tout au plus que 2800 pieds. Ces volcans ont montré des éjections de scories, le premier après des intervalles de 15 à 20 minutes (éruptions de juillet 1838 et de mars 1847), le second après des intervalles de 1 1/2 à 3 heures (éruptions d'août 1836 et de septembre 1844). Voy. Junghuhn, *Ibid.*, t. II, p. 554 et 765-769. Sur le Stromboli, de nombreuses éjections de scories sont accompagnées de petites et rares coulées de lave qui, arrêtées par des obstacles, durcissent quelquefois sur la pente du cône. J'attache beaucoup d'importance à distinguer la continuité et la séparation des matières en fusion ou seulement à moitié fondues, qui sont lancées ou déversées, soit sur la même montagne, soit sur des montagnes différentes. L'uniformité des aperçus à laquelle nous réduisent les quatre volcans encore actifs de l'Europe rend fort désirable que des observations analognes soient faites méthodiquement sous des zones lointaines. La question de savoir si l'Antisana, dans les Cordillères de Quito, a donné des coulées de lave, question que j'ai posée en 1802, que mon ami Boussingault a renouvelée en 1831, et sur laquelle je reviendrai plus bas, trouve peut-être sa solution dans la séparation des matières fluides. Le caractère essentiel d'un torrent de lave est une fluidité égale et cohérente. Un torrent de lave est un fleuve qui se déroule en bandes, et à la surface duquel se détachent des écailles, lorsqu'il s'est durci en refroidissant. Ces écailles, au-dessous desquelles la lave presque homogène continue à couler pendant longtemps, sont redressées çà et là, soit obliquement, soit perpendiculairement, par l'inégalité du mouvement intérieur et par les gaz chauds qui se dégagent. Si, comme en Islande, plusieurs torrents de lave coulant à la fois viennent à former un lac de lave, ce lac refroidi devient un champ de débris rugueux. Les Espagnols, surtout au Mexique, désignent ces contrées, qu'il est très-difficile de parcourir, sous le nom de *Malpais*. Les champs de débris, que l'on rencontre souvent dans

la plaine, au pied d'un volcan, rappellent la surface gelée d'un lac où sont amoncelés des glaçons.

(8) [page 332]. On peut expliquer le nom du Gunung-Idgen, d'après Buschmann, par le mot javanais, *hidgèn* qui signifie *isolé, seul, à part :* c'est un dérivé du substantif *hidgi* ou *widgi*, *blé, grain*, qui, composé avec *sa*, exprime le nombre *un*. Sur l'étymologie du Gunung-Tengger, voyez la notice très-détaillée de mon frère, *Ueber die Verbindungen zwischen Java und Indien* (*Kawi-Sprache*, t. I, p. 188), où il signale l'importance historique de la chaîne des monts Tengger, habités par une petite peuplade qui a conservé son ancienne religion indo-javanaise et résiste au mahométisme, actuellement la religion dominante dans l'île de Java. Junghuhn, qui explique souvent des noms de montagnes par la langue kawi, dit (2e part., p. 554), que *Tengger* signifie en kawi *colline*. Le dictionnaire de la langue javanaise par Gerike (*javaansch-nederduitsch Woordenboek*, Amsterdam, 1847) donne à ce mot la même signification. *Slamat*, le nom du haut volcan de Tegal, est le mot arabe bien connu *selamat* qui signifie *bien-être, bonheur, salut*.

(9) [page 332]. Voy. dans Junghuhn (*Java*, t. II), le Slamat, p. 153 et 163; l'Idgen, p. 698; le Tengger, p. 773.

(10) [page 332]. *Ibid.*, t. II, p. 760-762.

(11) [page 335]. Voy. l'*Atlas géographique et physique* qui accompagne ma *Relation historique*, 1814, pl. XXVIII et XXIX.

(12) [page 335). *Cosmos*, t. IV, p. 307-309.

(13) [page 335]. *Cosmos*, t. I, p. 234 et 519; t. IV, p. 199.

(14) [page 337]. Dans les deux éditions de mon *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, 1811 et 1827 (t. II, p. 165-175 de la 2e édit.), je n'ai donné, conformément à la nature de cet ouvrage, qu'un extrait concis de mon Journal, sans y

pouvoir ajouter le plan topographique des environs et la carte des hauteurs. L'importance qu'on a attachée à l'évènement considérable survenu au milieu du dernier siècle m'oblige de compléter ici cet extrait. J'ai puisé de nouveaux détails sur le volcan de Jorullo dans un document officiel, dressé trois semaines après la première éruption, mais qui n'a été retrouvé qu'en 1830, par un prêtre mexicain très-distingué et très-instruit, Don Juan José Pastor Moralès. J'en dois d'autres aux communications verbales de mon compagnon de voyage, Don Ramon Espelde, qui avait pu encore consulter des témoins de la première éruption. — Moralès a découvert, dans les archives de l'évêque de Michuacan, un Rapport, que Joaquin de Ansogorri, prêtre du village indien la Guacana, avait adressé le 19 octobre 1759 à son évêque. Le Conseiller supérieur des Mines Burkart, en a donné également un court extrait, dans l'ouvrage instructif intitulé : *Aufenthalt und Reisen in Mexico* (1836, t. I, p. 230). Don Ramon Espelde habitait dans la plaine de Jorullo lors de mon voyage, et il a le mérite d'avoir fait le premier l'ascension du volcan. Quelques années plus tard, il s'associa à l'expédition de l'*Intendente Corregidor* Don Juan Antonio de Riaño (10 mars 1789). Un Allemand fort instruit, qui était entré au service de l'Espagne en qualité de Commissaire des Mines, François Fischer, faisait aussi partie de cette excursion. C'est par lui que le nom du Jorullo est entré pour la première fois en Allemagne, avec une lettre insérée dans les *Schriften der Bergbaukunde* (t. II, p. 441). Mais déjà l'éruption du nouveau volcan avait été signalée en Italie, dans la *Storia antica del Messico* de Clavigero (Cesena, 1780, t. I, p. 42) et dans un poëme du père Raphaël Landivar (*Rusticatio mexicana*, ed. altera, Bologna, 1782, p. 17). Dans son ouvrage, précieux d'ailleurs, Clavigero attribue faussement l'apparition du volcan, qu'il appelle *Juruyo*, à l'année 1760, et enrichit sa description de détails sur la pluie de cendres qui se répandit jusqu'à Queretaro, détails fournis, en 1766, par un témoin

oculaire, Don Juan Manuel de Bustamante, gouverneur de la province Valladolid de Michuacan. Landivar, enthousiaste comme Ovide de notre théorie du soulèvement, fait monter le colosse, dans ses hexamètres coulants, jusqu'à la hauteur de 3 *milliaria*, et trouve, comme les anciens, que les sources thermales sont froides pendant le jour, et chaudes pendant la nuit. J'ai vu cependant à midi, le thermomètre centigrade marquer 52° 1/2, dans les eaux du Rio de Cuitimba.

Antonio de Alcedo, dans l'article *Xurullo* de son grand *Diccionario geográfico-histórico de las Indias occidentales ó América*, publié en 1789 (5ᵉ part., p. 374), l'année où parut, dans la *Gazeta de Mexico*, le Rapport du Gouverneur Riaño et du Commissaire des Mines, François Fischer, a publié cet intéressant détail : que, lorsque commencèrent les tremblements de terre dans les Playas (29 juin 1759), le volcan de Colima qui était en éruption se calma aussitôt, bien que, suivant Alcado, il soit séparé des Playas par un intervalle de 70 *leguas*; d'après ma carte, la distance n'est que de 28 milles géographiques. « On suppose, ajoute Fischer, que la matière rencontra, dans les entrailles de la Terre, des obstacles qui la forcèrent à changer de cours, et que, trouvant à l'Est des cavités appropriées, elle aurait fait surgir le Jorullo (para reventar en Xurullo). » On trouve également des renseignements topographiques très-exacts sur les environs du volcan, dans l'esquisse géographique de l'ancien pays des Taraskes par Juan José Martinez de Lejarza : *Analisis estadistico de la provincia de Michuacan en* 1822 (Mexico, 1824, p. 125, 129, 130 et 131). En affirmant que, depuis mon départ du Mexique, le Jorullo n'a prouvé par aucune manifestation que son activité se fût accrue, l'auteur, qui habite à Valladolid, près du volcan, a le premier contredit le bruit d'une nouvelle éruption qui aurait eu lieu en 1819 (Lyell, *Principles of Geologie*, 1853, p. 430). Comme la latitude du Jorullo n'est pas sans intérêt, j'ai été frappé de cette circonstance que Lejarza, qui suit toujours mes déterminations astronomiques

et qui adopte exactement comme moi, pour la longitude du Jorullo, 2° 25′ à l'ouest du méridien du Mexique (103° 50′ Ouest de Paris), n'est pas d'accord avec moi quant à la latitude. Celle qu'il indique (18° 53′ 30″), et qui se rapproche singulièrement de celle du Popocatepetl (18° 59′ 47″), serait-elle fondée sur des observations récentes, dont je n'aurais pas connaissance? J'ai dit expressément dans mon *Recueil d'Observations astronomiques* (t. II, p. 521) : « Latitude *supposée*, 19° 8′. Cette évaluation est déduite d'observations d'étoiles faites avec soin à Valladolid, qui ont donné 19° 52′ 8″, et de la direction de la route. » C'est plus tard, en dressant à Mexico la grande carte du Mexique, et en y insérant la rangée de volcans qui court de l'Est à l'Ouest, que j'ai compris de quelle importance est la latitude du Jorullo.

Puisque j'ai souvent fait allusion, dans cette notice sur l'origine du Jorullo, aux traditions répandues encore aujourd'hui dans le pays, je citerai, à la fin de ce long exposé, une légende très-populaire, que j'ai déjà mentionnée ailleurs (*Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. II, 1827, p. 172) : « Selon la crédulité des indigènes, ces changements extraordinaires que nous venons de décrire sont l'ouvrage des moines, le plus grand peut-être qu'ils aient produit dans les deux hémisphères. Aux *Playas de Jorullo*, dans la chaumière que nous habitions, notre hôte indien nous raconta qu'en 1759 des capucins en mission prêchèrent à l'habitation de San-Pedro; mais que, n'ayant pas trouvé un accueil favorable, ils chargèrent cette plaine, alors si belle et si fertile, des imprécations les plus horribles et les plus compliquées : ils prophétisèrent que d'abord l'habitation serait engloutie par des flammes qui sortiraient de la terre, et que plus tard l'air ambiant se refroidirait à tel point que les montagnes voisines resteraient éternellement couvertes de neige et de glace. La première de ces malédictions ayant eu des suites si funestes, le bas peuple indien voit déjà dans le refroidissement progressif du volcan le présage d'un hiver perpétuel. »

Après le poëme du père Landivar, le premier ouvrage imprimé qui parle de cette catastrophe est la *Gazeta de Mexico* du 5 mai 1789 (t. III, num. 30, p. 293-297). L'article est intitulé modestement : *Superficial y nada facultativa Descripcion del estado en que se hallaba el Volcan de Jorullo la mañana del dia* 10 *de marzo de* 1789. Il a été fait à l'occasion de l'expédition de Riaño, de François Fischer et d'Espelde. Plus tard (1791), les botanistes Mociño et Don Martin Sesse, attachés à l'expédition maritime et astronomique de Malaspina, ont également observé le Jorullo de la côte du Pacifique.

(15) [page 341]. Mes mesures barométriques donnent, pour Mexico, 1168 toises; pour Valladolid, 1002 t.; pour Patzcuaro, 1130 t.; pour Ario, 994 t.; pour Aguasarco, 780 t., et pour l'ancienne plaine *des Playas de Jorullo*, 404 t. Voy. Humboldt, *Observations astronomiques*, t. I, p. 327 (nivellement barométrique, n° 367-370).

(16) [p. 342]. En évaluant la hauteur de l'ancienne plaine des Playas à 404 toises au-dessus de la mer, je trouve, pour le maximum de convexité du Malpais, 487 t.; pour le dos du grand torrent de lave, 600 t.; pour le bord le plus élevé du cratère, 667 t.; pour le point le plus bas du cratère où nous avons pu poser notre baromètre, 644 t. La hauteur du sommet du Jorullo au-dessus de la plaine est, d'après ces mesures, de 263 toises ou 1578 pieds.

(17) [page 342]. Burkart, *Aufenthalt und Reisen in Mexico, in den Jahren* 1825-1834, t. I (1836), p. 227.

(18) [page 342]. *Ibid.*, t. I, p. 227 et 230.

(19) [page 342]. Poulet Scrope, *Considerations on Volcanos*, p. 267; sir Charles Lyell, *Principles of Geology*, 1853, p. 429; *Manual of Geology*, 1855, p. 580; Daubeny, *on Volcanos*, p. 337. Voy. aussi, sur l'hypothèse d'un gonflement du sol, la *Géologie* de Dana, dans l'*U. St. Expl. Expedition*, t. X,

p. 379, et Constant Prevost, *sur les Éruptions et le drapeau de l'infaillibilité*, dans les *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XLI, 1855, p. 866-876 et 918-923. On peut consulter encore, sur le Jorullo, la description des volcans mexicains, par Pieschel, avec les commentaires du docteur Gumprecht, dans la *Zeitschrift für allgem. Erdkunde*, publiée par la Société géographique de Berlin (t. VI, p. 490-517), et les vues pittoresques des volcans mexicains, récemment publiées par Pieschel, dans son Atlas des Volcans de la République mexicaine (1856, tab. 13, 14 et 15). — Le Musée royal de Berlin possède, dans sa division des dessins et des gravures, une magnifique collection représentant les volcans du Mexique, peints d'après nature par Maurice Rugendas. Ce grand maître en a donné plus de quarante feuilles, dont quinze pour le Colima, le plus occidental de tous les volcans mexicains.

(20) [page 348]. « Nous avons été, M. Bonpland et moi, étonnés surtout de trouver, enchâssés dans les laves basaltiques, lithoïdes et scorifiées du volcan de Jorullo, des fragments anguleux blancs ou blancs-verdâtres de syénite, composés de peu d'amphibole et de beaucoup de feldspath lamelleux. Là où ces masses ont été crevassées par la chaleur, le feldspath est devenu filandreux, de sorte que les bords de la fente sont réunis dans quelques endroits par les fibres allongées de la masse. Dans les Cordillères de l'Amérique du Sud, entre Popayan et Almaguer, au pied du Cerro Broncoso, j'ai trouvé de véritables fragments de gneiss enchâssés dans un trachyte abondant en pyroxène. Cela prouve que les formations trachytiques sont sorties au-dessous de la croûte granitique du globe. Ce sont les mêmes phénomènes que présentent les trachytes du *Siebengebirge* sur les bords du Rhin, et ses couches inférieures dans le phonolithe (Porphyrschiefer) du *Biliner Stein* en Bohême. » (Humboldt, *Essai géognostique sur le gisement des roches*, 1823, p. 133 et 339). Burkart (*Aufenthalt und Reisen in Mexico*, t. I, p. 230) a également reconnu,

enfermés dans la lave noire et riche en olivine du Jorullo, des blocs d'une syénite altérée. « Il est rare, dit-il, qu'on distingue nettement de la hornblende. Les blocs de syénite sont peut-être la preuve que le Jorullo a son foyer dans la syénite même ou au-dessous de cette roche, très-répandue à quelques milles (leguas) vers le Sud, sur la rive gauche du Rio de las Balsas, qui va se jeter dans le Pacifique. » Dolomieu et, en 1832, l'excellent géognoste Frédéric Hoffmann, ont même trouvé à Lipari, près de Caneto, des fragments de granite enchâssés dans des masses d'obsidienne. Ce granite était composé de feldspath rougeâtre, de mica noir et d'un peu de quartz gris clair. (Poggendorff's *Annalen der Physik*, t. XXVI, p. 49.)

(21) [page 351]. Strabon, l. XII et XIII, p. 579 et 628; Hamilton, *Researches in Asia Minor*, t. II, c. 39. Le plus occidental des trois cônes, appelé actuellement *Kara Devlit*, s'élève à 500 pieds au-dessus de la plaine, et a déversé un grand torrent de lave du côté de Koula. Hamilton a compté dans les environs plus de trente cônes. Les trois gouffres (βόθροι ou φῦσαι de Strabon) sont des cratères situés sur des montagnes coniques, formées de scories et de laves.

(22) [page 351]. Erman, *Reise um die Erde*, t. III, p. 538; *Cosmos*, t. IV, p. 282 et 652 (note 32). Postels (*Voyage autour du monde par le capitaine Lutkè*, partie histor., t. III, p. 76) et Léop. de Buch (*Description physique des îles Canaries*, p. 448) signalent la ressemblance de ces échafaudages avec les Hornitos du Jorullo. Erman décrit, dans un manuscrit qu'on a bien voulu me communiquer, un grand nombre de cônes de scories tronqués, qui se trouvent dans l'immense champ de lave situé à l'est des montagnes Baïdares, dans la presqu'île du Kamtschatka.

(23) [page 352]. Porzio, *Opera omnia. medica, philos. et*

mathem., in unum collecta, 1736. Comp. Dufrénoy, *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, t. IV, p. 274. Toutes les questions d'origine sont traitées avec une grande impartialité et d'une manière complète, dans sir Charles Lyell, *Principles of Geology*, 1853, p. 369. Déjà Bouguer (*Figure de la Terre*, 1749, p. LXVI) était assez disposé à admettre le soulèvement du Pichincha. « Il n'est pas impossible, dit-il, que le rocher, qui est brûlé et noir, ait été soulevé par l'action du feu souterrain. » Comp. aussi p. XCI.

(24) [page 352]. *Zeitschrift für allgemeine Erdkunde*, t. IV, p. 398.

(25) [page 352]. Pour déterminer exactement les minéraux dont sont formés les volcans du Mexique, on a comparé avec mes anciennes collections les collections récentes de Pieschel.

(26) [page 354]. Le beau marbre de la Puebla provient des carrières de Tecali, de Totomehuacan et de Portachuelo, au sud de la haute montagne de trachyte *el Pizarro*. J'ai vu également paraître du calcaire près des gradins de la pyramide de Cholula, sur la route de la Puebla.

(27) [page 355]. *Le Cofre de Perote* s'élève presque isolément au sud-est du *Fuerte* ou *Castillo de Perote*, près du versant oriental du grand plateau de Mexico; cependant son vaste massif appartient à une chaîne d'une hauteur considérable qui forme le bord du versant, et, partant de *Cruz Blanca* et du Rio Frio, se dirige vers las Vigas (lat. 19° 37′ 37″), traverse le Cofre de Perote lui-même (lat. 19° 28′ 57″, long. 99° 28′ 39″) à l'ouest de Xicochimalco et d'Achilchotla, et s'étend du Nord au Sud jusqu'au pic d'Orizaba (lat. 19° 2′ 17″, long. 99° 35′ 15″) parallèlement à la chaîne du Popocatepetl et de l'Iztaccihuatl qui sépare de la plaine de la Puebla la vallée des lacs mexicains, creusée en forme de cuve. Pour les bases de ces déterminations, voy. mon *Recueil d'Observations*

***astronomiques,* t. II, p. 529-532 et 547, et *Analyse de l'Atlas du Mexique,* ou *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne,* t. I,** p. 55-60. Comme le Cofre de Perote forme une éminence abrupte au milieu d'un champ de pierres ponces, large de plusieurs milles, j'ai remarqué, avec un grand intérêt, dans mon ascension du 7 février 1804, pendant laquelle le thermomètre a baissé, au sommet de la montagne, jusqu'à —2°, que la couche de ponce, dont j'ai mesuré barométriquement la hauteur et l'épaisseur sur plusieurs points, en montant et en descendant, dépasse 732 pieds. La limite inférieure de la pierre ponce, dans la plaine qui s'étend entre le Perote et le Rio Frio, s'élève à 1 187 toises au-dessus de la mer; la limite supérieure, sur le versant septentrional du *Cofre,* à 1 309 toises. Depuis ce point, et en traversant le Pinahuast et l'*Alto de los Caxones* (1 954 toises), où j'ai pu déterminer la latitude par la culmination du soleil, je n'ai plus trouvé, jusqu'au sommet, aucune trace de pierre ponce. Lors du soulèvement de la montagne, une partie de la ponce qui recouvre le grand Arenal, dont la surface a peut-être été aplanie et stratifiée par l'action des eaux, a été emportée violemment. J'ai fait sur les lieux, dans mon Journal (février 1804), un dessin de cette ceinture de pierre ponce. C'est le même phénomène important qui a été vu par Léop. de Buch en 1834 sur le Vésuve, où des couches horizontales de tuf ponceux ont été portées par le soulèvement à 1 800 ou 1 900 pieds de hauteur, vers l'hermitage de Salvator (Poggendorff's *Annalen*, t. XXXVII, p. 175-179). Sur le *Cofre,* à l'endroit où j'ai trouvé la plus haute pierre ponce, la neige ne dérobait pas à l'observation la superficie de la roche de trachyte dioritique. Au Mexique, par 19° et 19° 1/4 de latitude, la neige éternelle ne commence qu'à la hauteur moyenne de 2 310 toises, et le sommet du *Cofre* atteint, au pied du petit rocher carré semblable à une maison, où j'avais disposé mes instruments, 2 098 toises ou 12 588 pieds au-dessus de la mer. Le rocher carré a, d'après des angles de hauteur, 21 toises ou 126 pieds. La hauteur

totale du *Cofre*, à laquelle on ne peut pas parvenir à cause du mur de rocher perpendiculaire, est donc de 12 714 pieds au-dessus de la mer. Je n'ai trouvé que quelques taches de neige sporadique, dont la limite inférieure était à 11 400 pieds, 700 ou 800 pieds environ avant la limite supérieure de la forêt peuplée de beaux pins (Pinus occidentalis), mêlés au Cupressus sabinoides et à l'Arbutus madroño. Le chêne (Quercus xalapensis) ne nous a accompagné que jusqu'à la hauteur absolue de 9 700 pieds (Humboldt, *Nivellement barométrique des Cordillères*, n° 414-429). Le nom mexicain de cette montagne, *Nauhcampatepetl*, est dû à sa forme particulière, qui lui a valu aussi le nom espagnol de *Cofre*; il signifie *montagne à quatre faces*, car *Nauhcampa*, formé du nom de nombre *nahui* (quatre), signifie adverbialement *de quatre côtés*, et, dans le sens adjectif, certainement *quadrilatéral* ou *quadrangulaire*, quoique les dictionnaires n'en disent rien. C'est le sens que l'on donne en particulier à la combinaison *Nauhcampa ixquich*. Un observateur familier avec ce pays, M. Pieschel, suppose l'existence d'un ancien orifice de cratère, sur le versant Est du *Cofre de Perote* (*Zeitschrift für allegem. Erdkunde*, publiée par Gumprecht, t. V, p. 125). J'ai dessiné le *Cofre*, près du château *San-Carlos de Perote*, à la distance de 2 milles environ (voy. Humboldt, *Vues des Cordillères*, pl. XXXIV). —Le nom du *Perote* était, dans l'ancienne langue des Aztèques, *Pinahuizapan*; ce mot signifie, d'après Buschmann, *sur les bords de la rivière du Pinahuizlli*, espèce de scarabée qui passait pour un signe de mauvais augure, et était employée dans des pratiques superstitieuses. Comp. Sahagun, *Historia gener. de las cosas de Nueva España*, t. II, 1829, p. 10-11. Ce nom est dérivé du mot *Pinahua*, qui signifie *avoir honte*. De là vient aussi le nom de la contrée *Pinahuast* (Pinahuaztli), ainsi que le nom d'un végétal qui parait être de la famille des mimosacées, *Pinahuihuiztli*, que Hernandeza traduit par *herba verecunda*, parce que ses feuilles se détachent au simple contact.

(28) [page 358]. Strabon, l. I, p. 58; l. VI, p. 269, édi. de Casaub.; *Cosmos*, t. I, p. 528 (note 25), et t. IV, p. 256 et 640 (note 88).

(29) [page 358]. *Cosmos*, t. IV, p. 305 et 640 (note 76).

(30) [page 358]. La Condamine dit : « Je n'ai point connu la matière de la lave en Amérique, quoique nous ayons, M. Bouguer et moi, campé des semaines et des mois entiers sur les volcans, et nommément sur ceux de Pichincha, de Cotopaxi et de Chimborazo. Je n'ai vu sur ces montagnes que des vestiges de calcination sans liquéfaction. Cependant, l'espèce de cristal noirâtre, appelé vulgairement au Pérou Piedra de Gallinaço (obsidienne), dont j'ai rapporté plusieurs morceaux et dont on voit une lentille polie de sept à huit pouces de diamètre au cabinet du Jardin du Roi, n'est autre chose qu'un verre formé par les volcans. La matière du torrent de feu qui découle continuellement de celui de Sangay, dans la province de Macas, au sud-est de Quito, est sans doute une lave; mais nous n'avons vu cette montagne que de loin, et je n'étais plus à Quito dans le temps des dernières éruptions du volcan de Cotopaxi, lorsque sur ses flancs il s'ouvrit des espèces de soupiraux, d'où l'on vit sortir à flots des matières enflammées et liquides qui devaient être d'une nature semblable à la lave du Vésuve. » (*Journal de Voyage en Italie*, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1757, p. 357, et *Histoire*, p. 12.) Le choix de ces deux exemples et surtout du premier n'est pas heureux. Le Sangay n'a été examiné scientifiquement qu'en 1849 par Sébastien Wisse. Ce que La Condamine a pris, à une distance de 27 milles géographiques, pour une coulée de lave ardente et même pour un torrent de soufre enflammé et de pétrole, n'était autre chose que des pierres incandescentes et des masses de scories, qui glissent quelquefois en bande serrée sur le versant abrupte du cône de cendres (*Cosmos*, t. IV, p. 296). Je n'ai rien vu sur le Cotopaxi, non plus que sur le

Tungurahua, le Chimborazo, le Pichincha, ou sur le Puracé et le volcan de Sotara, près de Popayan, qui ressemble à d'étroites coulées de lave vomies par ces colosses volcaniques. Les masses enflammées, sans cohésion, d'un diamètre de cinq à six pieds, et contenant souvent de l'obsidienne, qui ont été lancées en dehors du Cotopaxi, ont été poussées par des flots de neiges et de glaces fondues fort avant dans la plaine, où elles se présentent en quelques endroits sous forme de rayons divergents. La Condamine a dit aussi avec vérité (*Journal du Voyage à l'Équateur*, p. 160) : « Ces éclats de rocher, gros comme une chaumière d'Indien, forment des traînées de rayons qui partent du Volcan comme d'un centre commun. »

(31) [page 359]. Le Mémoire de Guettard sur les volcans éteints fut lu à l'Académie en 1752, par conséquent trois ans avant le départ de La Condamine pour l'Italie; mais il ne fut imprimé qu'en 1756, c'est-à-dire pendant le voyage de La Condamine (voy. p. 380).

(32) [page 364]. « Il y a peu de volcans dans la chaîne des Andes, dit Léopold de Buch, qui aient offert des courants de lave, et jamais on n'en a vu autour des volcans de Quito. L'Antisana, sur la chaîne orientale des Andes, est le seul volcan de Quito sur lequel M. de Humboldt ait vu près du sommet quelque chose d'analogue à un courant de laves; cette coulée était tout à fait semblable à de l'obsidienne. » *Descript. des îles Canaries*, 1836, p. 468 et 488.

(33) [page 366]. Naumann, *Géognosie*, t. I, p. 160.

(34) [page 366]. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, 1854, t. I, p. 183.

(35) [page 367]. « Nous différons entièrement sur la prétendue coulée d'Antisana vers Pinantura. Je considère cette coulée comme un soulèvement récent, analogue à ceux de Calp (Yana-Urcu), de Pisque et de Jorullo. Les fragments trachyti-

ques ont pris une épaisseur plus considérable vers le milieu de la coulée. Leur *couche* est plus épaisse vers Pinantura que sur des points plus rapprochés d'Antisana. L'état fragmentaire est un effet du soulèvement local, et souvent dans la Cordillère des Andes les tremblements de terre peuvent être produits par des tassements. » (Lettre de M. Boussingault, août 1834.) Comp. *Cosmos*, t. IV, p. 191. Boussingault dit, dans la description de son ascension au Chimborazo (déc. 1831) : « La masse du Chimborazo est formée par l'accumulation de débris trachytiques, amoncelés sans ordre. Ces fragments trachytiques, d'un volume souvent énorme, ont été soulevés à l'état solide; leurs angles sont toujours tranchants; rien n'indique qu'il y ait eu fusion ou même un simple état de mollesse. Nulle part, dans aucun des volcans de l'équateur on n'observe rien qui puisse faire présumer une coulée de laves. Il n'est jamais sorti de ces cratères que des déjections boueuses, des fluides élastiques ou des blocs incandescents de trachyte plus ou moins scorifiés et qui souvent ont été lancés à des distances considérables. » (Voy. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 212.) Sur l'origine de cette opinion, que les masses solides ont été entassées en blocs par voie de soulèvement, voy. Acosta, dans *Viajes à los Andes ecuatoriales por M. Boussingault*, 1849, p. 222 et 223. D'après les conjectures du célèbre voyageur, les secousses terrestres et d'autres phénomènes, en mettant en mouvement les blocs accumulés, et les cavités, en se comblant peu à peu, amèneraient un affaissement successif dans les sommets des montagnes volcaniques.

(36) [page 368]. Voy. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 296-301; Gustave Rose, *Mineral. geognost. Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere*, t. I, p. 599. Il se peut que, lors du premier fendillement de l'écorce terrestre, des murs de granite étroits et allongés se soient élevés audessus de failles analogues aux failles larges de 30 à 40 pieds qui sont restées béantes au pied du Pichincha, et que l'on

désigne à Quito sous le nom de *Guaycos*. Voy. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique génér.*, t. I, 1854, p. 28.

(37) [page 368]. La Condamine, *Mesure des trois premiers Degrés du Méridien, dans l'Hémisphère austral*, 1751, p. 56.

(38) [page 369]. Ni le Passuchoa, ni l'Atacazo, dont il est séparé par la métairie *el Tambillo*, n'atteignent la région de la neige éternelle. Le bord du cratère, *la Peila*, s'est écroulé du côté de l'Ouest, mais à l'Est il s'élève en amphithéâtre. On raconte dans le pays que le Passuchoa, jadis très-actif, s'est éteint pour toujours, au xvie siècle, à l'occasion d'une éruption du Pichincha, ce qui confirme la communication entre les foyers des Cordillères orientales et occidentales, situées en face l'une de l'autre. Le bassin proprement dit de Quito, fermé, au Nord, par le nœud de montagne compris entre Cotocachi et Imbaburo; au Sud, par les Altos de Chisinche qui courent entre 0° 20′ N. et 0° 40′ S., est divisé, dans la plus grande partie de sa longueur, par les dos de montagnes d'Ichimbio et de Poingasi. À l'Est se trouve la vallée de Puembo et de Chillo, à l'Ouest la plaine d'Iñaquito et de Turubamba. Dans la Cordillère orientale se suivent, du Nord au Sud : Imbaburo, les Faldas de Guamani et d'Antisana, Sinchulahua et le mur noir perpendiculaire de Ruminãui (œil de pierre), qui semble couronné de crénaux; dans la Cordillère occidentale se succèdent : Cotocachi, Casitagua, Pichincha, Atacazo et Corazon, sur le versant duquel fleurit la belle plante alpine, le Ranunculus Gusmani de couleur rouge. Il m'a paru opportun de représenter en quelques traits et d'après nature le relief d'un terrain classique, si important pour la géologie des volcans.

(39) [page 372]. Il est très-étonnant que le puissant Cotopaxi, qui manifeste une immense activité, le plus souvent, il est vrai, à des intervalles considérables, et qui fait surtout sentir sa présence aux environs par les inondations qu'il oc-

casionne, n'émette, dans les intervalles de ses éruptions périodiques, aucune vapeur visible, soit du plateau de Lactacunga, soit du Paramo de Pansache. L'examen comparatif de plusieurs colosses volcaniques ne permet pas d'expliquer un tel phénomène par la hauteur de la montagne, qui est de 18 000 pieds environ, ni par l'air raréfié que cette hauteur suppose. Du reste, aucun Nevado des Cordillères équatoriales ne se montre aussi souvent dégagé de nuages, et dans une aussi éclatante beauté que la partie du Cotopaxi qui s'élève au-dessus de la limite des neiges éternelles. La régularité non interrompue de ce cône de cendres est beaucoup plus frappante que celle du cône de cendres placé au sommet du pic de Ténériffe, lequel présente sur toute sa longueur un mur saillant d'obsidienne. On prétend que la partie supérieure du Tungurahua se rapprochait seule du Cotopaxi pour la régularité de sa forme; mais la terrible catastrophe de Riobamba (4 février 1797), a défiguré cette montagne, en y creusant des crevasses, en renversant des rochers, en précipitant des parties de forêts et en amoncelant de toute part des débris. Çà et là, sur le Cotopaxi, comme l'a déjà remarqué Bouguer, la neige mêlée à des morceaux de pierre ponce forme une masse presque compacte. Le manteau de neige présente cependant, vers le Nord-Ouest, une petite inégalité causée par deux vallées ressemblant à des crevasses. De loin, on ne peut voir les crêtes de rochers noirs qui montent vers le sommet, bien que, dans l'éruption du 24 juin et du 9 décembre 1742, une ouverture latérale se soit montrée à moitié chemin du cône de cendres couvert de neige. On lit dans Bouguer (*Figure de la Terre*, p. LXVIII) : « Il s'étoit ouvert une nouvelle bouche vers le milieu de la partie continuellement neigée, pendant que la flamme sortoit toujours par le haut du cône tronqué. » On reconnaît seulement tout près du sommet quelques stries noires, parallèles, mais interrompues. Observées avec une lunette, et sous des jours différents, ces stries me paraissaient être des crêtes de rochers. Toute cette partie supérieure est

plus escarpée, et forme, près de l'endroit où le cône est tronqué, un mur circulaire de hauteur inégale, que l'œil nu ne peut cependant pas distinguer à une grande distance. La description que j'ai donnée de cette circonvallation supérieure et presque perpendiculaire a déjà vivement attiré l'attention de deux géologues distingués, Darwin (*Volcanic Island*, 1844, p. 83), et Dana (*Geology of the U. St. Explor. Expedit.*, 1849, p. 356). Les volcans des îles Galapagos, le Diana-Peak (île de Sainte-Hélène), le Pic de Ténériffe et le Cotopaxi présentent des formations analogues. Le point le plus élevé, dont j'ai déterminé l'angle de hauteur, lorsque j'ai mesuré trigonométriquement le Cotopaxi, était situé sur une partie convexe et noire. C'est peut-être le bord d'un cratère plus haut et plus éloigné, qui laisse voir la paroi intérieure, ou bien l'absence de la neige sur la roche saillante s'expliquerait-elle par l'escarpement et par la chaleur du cratère? Dans l'automne de 1800, on a vu durant une nuit toute la partie supérieure du cône de cendre s'illuminer, sans qu'il s'ensuivit une éruption ou même une émission de vapeurs visibles. Mais lors de l'épouvantable éruption du 4 janvier 1803, pendant mon séjour sur la côte de l'océan Pacifique, les détonations du volcan ébranlèrent les vitres des fenêtres dans le port de Guayaquil, à 37 milles géographiques de distance. Le cône de cendre avait perdu toute sa neige, et son aspect annonçait quelque catastrophe. Avait-on jamais remarqué auparavant un pareil effet? Tout récemment, ainsi que nous l'apprend une voyageuse intrépide qui en est à son second tour du monde, Mme Ida Pfeiffer (*Meine zweite Weltreise*, t. III, p. 170), le Cotopaxi a eu, au commencement du mois d'avril 1854, une éruption violente de fumée, s'échappant en épaisses colonnes, du milieu desquelles le feu se détachait en zigzags d'éclairs. Ce phénomène lumineux serait-il l'effet d'un orage volcanique, causé par l'évaporation? Depuis 1851 les éruptions sont fréquentes.

Plus est régulière la forme du cône tronqué et couvert de neiges du Cotopaxi, plus on est étonné de voir, à la limite in-

férieure de la région des neiges et à la naissance du cône, au sud-ouest du sommet, une petite masse de rocher découpée d'une manière bizarre, d'où s'élèvent trois ou quatre pointes. L'escarpement de cette masse rocheuse fait probablement que la neige n'y demeure qu'en certains endroits. Un coup d'œil jeté sur mon *Atlas pittoresque* (pl. X) fera voir très-clairement la position de ce rocher relativement au cône de cendres. C'est dans la *Quebrada* et le *Reventazon de Minas* que je me suis approché le plus près de cette masse noirâtre, probablement basaltique. Quoique depuis des siècles et dans toute la province cette colline, dont l'aspect singulier frappe les regards à une grande distance, porte généralement le nom de *Cabeza del Inga*, il circule cependant parmi les naturels de couleur (Indios) deux traditions différentes sur son origine: d'une part, on se borne à affirmer, sans préciser l'époque de cet événement, que le rocher est le faîte écroulé du volcan qui jadis finissait en pointe; l'autre hypothèse fixe l'époque de cet écroulement à l'année 1533, où l'Inca Atahuallpa fut étranglé à Caxamarca, et rattache la catastrophe à l'effroyable éruption ignée du Cotopaxi, décrite par Herrera, qui suivit dans la même année, et à une prophétie du père d'Atahualpa, Huayna Capac, annonçant obscurément la fin prochaine de l'empire du Pérou. La partie commune aux deux hypothèses, c'est-à-dire l'opinion que le rocher formait jadis le sommet du cône, est-elle un écho vague de la tradition, ou bien le souvenir confus d'un événement réel? On prétend que les indigènes, dans un état de culture aussi peu avancé, peuvent bien saisir des faits et en conserver le souvenir, mais non en déduire des combinaisons géologiques; je conteste la justesse de cette objection. L'idée qu'un cône tronqué a perdu sa pointe, l'a rejetée au loin sans la briser, comme on a vu de grands blocs précipités dans les éruptions postérieures, peut très-bien se présenter à un esprit non cultivé. La pyramide à gradins de Cholula, monument de l'architecture des Toltekes, est tronquée. Les indigènes sentaient

le besoin de se représenter la pyramide comme entièrement achevée à l'origine. Pour cela on a imaginé cette légende, qu'un aérolithe tombé du ciel en a détruit le sommet; on est même allé jusqu'à montrer aux *Conquistadores* espagnols des fragments de cet aérolithe. Comment peut-on, du reste, placer la première éruption du Cotopaxi à une époque, où aurait déjà existé le cône de cendre, évidemment formé par une série d'éruptions? Il me paraît probable que la *Cabeza del Inga* est née par un effet de soulèvement, à l'endroit même qu'elle occupe aujourd'hui, comme le Yana-Urcu au pied du Chimborazo, et comme, sur le Cotopaxi même, le *Morro,* situé au sud de Suniguaicu et au nord-ouest de la petite Lagune Yourakcocha, ou lac blanc, dans la langue Qquechhua.

J'ai dit, dans le premier volume de mes *Mélanges de Géologie et de Physique générale* (p. 513 et 514), que la première partie du nom de Cotopaxi est susceptible d'être interprétée, à l'aide de la langue Qquechhua, dans laquelle le mot *ccotto* signifie maison; quant au mot *pacsi,* il est inconnu. La Condamine dit bien (p. 53) que *Cotopaxi* signifie dans la langue des Incas *maison brillante;* mais, d'après la remarque de Buschmann, il a confondu *pacsi* avec *pacsa*, mot tout à fait différent, qui signifie éclat, clarté, et particulièrement la clarté douce de la Lune. Pour exprimer une masse brillante, il faudrait, d'après les habitudes de la langue Qquechhua, intervertir les deux mots et dire *pacsascotto.*

(40) [page 372]. Frédéric Hoffmann, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. XXVI, 1832, p. 48.

(41) [page 372]. Bouguer, *Figure de la Terre,* p. LXVIII. Combien de fois, depuis le tremblement de terre du 19 juillet 1698, la petite ville de Lactacunga a-t-elle été détruite et reconstruite en blocs de pierre ponce tirés des carrières souterraines de Zumbalica! On m'a communiqué, pendant mon séjour, des copies d'anciens manuscrits détruits ou de pièces

plus récentes, débris des archives de la ville, d'où il résulte que les catastrophes eurent lieu en 1703, en 1736, le 9 décembre 1742, le 30 novembre 1744, le 22 février 1757, le 10 février 1766 et le 4 avril 1768; par conséquent, sept fois dans un espace de soixante-cinq ans! J'ai trouvé encore, en 1802, quatre cinquièmes de la ville en ruines, par suite du grand tremblement de terre de Rio-Bamba (4 février 1797).

(42) [page 374]. L'ingénieux géologue Abich a déjà reconnu cette différence (*über Natur und Zusammenhang vulkanischer Bildungen*, 1841, p. 83).

(43) [page 374]. La roche du Cotopaxi a essentiellement la même composition minéralogique que les volcans qui en sont le plus voisins, l'Antisana et le Tungurahua. C'est un trachyte, formé d'oligoklase et d'augite, c'est-à-dire la roche même du Chimborazo, ce qui prouve l'identité des roches volcaniques dans les massifs des Cordillères qui se font face. Dans les échantillons recueillis, par moi en 1802, par Boussingault en 1831, la masse principale est en partie claire ou d'un gris verdâtre, brillante comme du pechstein et transparente sur les arêtes; en partie noire, presque comme le basalte, avec des pores grands et petits à parois brillantes. L'oligoklase, empâté dans cette masse, y est nettement circonscrit. Tantôt il affecte la forme de cristaux très-brillants et très-distinctement rayés sur les faces du clivage, tantôt il est petit et difficile à reconnaître. Les augites qui y sont mêlées et en font une partie essentielle sont brunes et d'un vert noirâtre; leurs dimensions sont très-diverses. Des feuillets de mica sombre et des grains noirs de fer magnétique, offrant l'éclat du métal, y sont disséminés en très-petite quantité et probablement par hasard. Dans les pores d'un fragment contenant beaucoup d'oligoklase, il se trouve un peu de soufre natif, déposé probablement par les vapeurs de soufre qui pénètrent tout.

(44) [page 375]. « Le volcan de Maypo (lat. aust. 34° 15′), qui n'a jamais rejeté de ponces, est encore éloigné de deux journées de la colline de Tollo, de 300 pieds de hauteur et toute composée de ponces qui renferment du feldspath vitreux, des cristaux bruns de mica et de petits fragments d'obsidienne. C'est donc une éruption (indépendante) isolée tout au pied des Andes et près de la plaine. » (Léop. de Buch, *Description physique des îles Canaries*, 1836, p. 470).

(45) [page 376]. Federico de Gerolt, *Cartas geognosticas de los principales distritos minerales de Mexico*, 1827, p. 5.

(46) [page 376]. Voy. sur la solidification et la formation de la croûte terrestre, *Cosmos*, t. I, p. 193-196 et 497. Les expériences de Bischof, Charles Deville et Delesse ont répandu une nouvelle lumière sur le crevassement du globe. On peut voir aussi les réflexions très-sensées qu'avait faites antérieurement Babbage, en expliquant, par un effet de la chaleur, le problème que présente le temple de Serapis au nord de Pozzuoli (*Quarterly Journal of the geological Society of London*, t. III, 1847, p. 186); comp. Charles Deville, *sur la diminution de densité dans les roches en passant de l'état cristallin à l'état vitreux*, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XX, 1845, p. 1453; Delesse, *sur les effets de la fusion*, *ibid.*, t. XXV, 1847, p. 545; Louis Frapolli, *sur le caractère géologique*, dans le *Bulletin de la Société géolog. de France*, 2ᵉ sér, t. IV, 1847, p. 627, et, avant tout, Élie de Beaumont, dans son important ouvrage intitulé : *Notice sur les systèmes de montagnes*, 1852, t. III. Les trois chapitres suivants méritent surtout l'attention des géologues : *Considérations sur les soulèvements dus à une diminution lente et progressive du volume de la Terre*, p. 1330; *sur l'écrasement transversal nommé refoulement par Saussure, comme une des causes de l'élévation des chaînes de montagnes*, p. 1317, 1333 et 1346; *sur la contraction que les roches fondues éprouvent en cristallisant, tendant, dès le commencement du refroidissement du*

globe, à rendre sa masse interne plus petite que la capacité de son enveloppe extérieure, p. 1235.

(47) [page 377]. « Les eaux chaudes de Saragyn, à la hauteur de 5 260 pieds, sont remarquables par le rôle que joue le gaz acide carbonique qui les traverse à l'époque des tremblements de terre. Le gaz, à cette époque, comme l'hydrogène carboné de la presqu'île d'Apchéron, augmente de volume et s'échauffe avant et pendant les tremblements de terre dans la plaine d'Ardébil. Dans la presqu'île d'Apchéron, la température s'élève de 20° jusqu'à l'inflammation spontanée au moment et à l'endroit d'une éruption ignée, pronostiquée toujours par des tremblements de terre dans les provinces de Chémakhi et d'Apchéron. » (Abich, dans les *Mélanges physiques et chimiques*, t. II, 1855, p. 364 et 365). Voy. aussi *Cosmos*, t. IV, p. 196.

(48) [page 377]. *Cosmos*, t. IV, p. 280 et 304.

(49) [page 378]. W. Hopkins, *Researches on physical Geology*, dans les *Philos. Transact. for* 1839, 2e part., p. 311; *for* 1840, 1re part., p. 193; *for* 1842, 1re part., p. 43. Voy. aussi, sur les conditions de stabilité de la surface terrestre, *Theory of Volcanos*, dans le *Report of the* 17th *meeting of the British Association*, 1847, p. 45-49.

(50) [page 378]. *Cosmos*, t. IV, p. 39-43 et 546 (notes 48-51) Naumann, *Geognosie*, t. I, p. 66-76; Bischof, *Wärmelehre*, p. 382; Lyell, *Principles of Geology*, 1853, p. 536-547 et 562. M. A. de Quatrefages, dans ses *Souvenirs d'un naturaliste*, non moins agréables qu'instructifs, évalue la limite supérieure des couches liquides fondues à la profondeur insignifiante de 20 kilomètres : « puisque, dit-il, la plupart des silicates fondent déjà à 666° cent. » Mais G. Rose m'écrit que ce nombre est au-dessous de la vérité. « La température de 1300°, dit-il, que Mitscherlich a fixée comme point de fusion

du granite (*Cosmos*, t. I, p. 443, note 13), est certainement le minimum. J'ai souvent fait placer du granite dans les endroits les plus chauds des fours à porcelaine, et jamais il ne fondait qu'imparfaitement. Le mica seul fond avec le feldspath, et produit un verre vésiculaire; le quartz devient opaque, mais ne fond pas. Il en est de même de toutes les roches qui contiennent du quartz: on peut même employer ce moyen pour découvrir le quartz dans les roches où il est en si faible quantité qu'il est impossible de le reconnaître à l'œil nu: par exemple, dans la syénite de Plauen en Saxe, et dans le diorite que nous avons rapporté ensemble, en 1829, d'Alapajewsk, dans l'Oural. Toute roche qui, comme le basalte par exemple, ne contient pas de quartz et en général de minéraux aussi riches en acide silicique que le granite, fond plus facilement que le granite et forme du verre parfait, lorsqu'elle est soumise à la chaleur de la porcelaine, mais non pas sur une lampe à esprit de vin et à double courant d'air, qui certainement est capable de produire une chaleur de 666° centésimaux. Lors des remarquables expériences de Bischof pour fondre dans un moule une balle de basalte, cette roche a paru demander, d'après des suppositions hypothétiques il est vrai, une température de 168° Réaumur plus élevée que le point de fusion du cuivre. (*Wärmelehre des Innern unsers Erdkörpers*, p. 473.)

(51) [page 379]. *Cosmos*, t. IV, p. 189. Comparez aussi, sur la distribution inégale du sol de glace et sur sa profondeur, indépendante des latitudes géographiques à laquelle il commence, les observations remarquables du capitaine Franklin, d'Erman, de Kupffer, et principalement celles de Middendorff, *Ibid.*, p. 48, 53 et 549 (note 61).

(52) [page 380]. Leibnitz, *Protogæa*, § 4.

(53) [page 380]. *Cosmos*, t. I, p. 280 et 535 (note 39);

Ukert, *Geographie der Griechen und Römer*, 2e part., fasc. 1, p. 198.

(54) [page 381]. *Cosmos*, t. I, p. 531 (note 30); t. IV, p. 260 et 262 (note 93).

(55) [page 381]. Curtius, *Peloponesos*, t. II, p. 439.

(56) [page 381]. Sur le Vivarais et le Velay, voyez les dernières et très-exactes recherches de Girard dans ses *Geologische Wanderungen*, t. I, 1856, p. 161, 173 et 214. Les anciens volcans d'Olot ont été retrouvés par le géologue américain Maclure en 1808. Lyell les a visités en 1830, et les a très-bien décrits et reproduits par la gravure, dans son *Manual of Geology*, 1855, p. 535–542.

(57) [page 382]. Ross, *Reisen auf den griechischen Inseln*, t. II, p. 69 et p. 78.

(58) [page 382]. Sir Rod. Murchison, *Siluria*, p. 20 et 55-58. Voy. aussi Lyell, *Manual*, p. 563.

(59) [page 383]. Scoreby, *Account of the arctic regions*, t. I, p. 155-169, tab. V et VI.

(60) [page 383]. Léop. de Buch, *Descript. des îles Canaries*, p. 357-369, et Landgrebe, *Naturgeschichte der Vulkane*, 1855, t. I, p. 121-136. Sur les enceintes des cratères de soulèvement (Caldeiras), dans les îles San Miguel, Fayal et Terceira, d'après les cartes du cap. Vidal, voy. *Cosmos*, t. IV, p. 641 (note 90). Les éruptions de Fayal (1672) et de S. Jorge (1580 et 1808) paraissent dépendre du volcan principal, qui est le Pico.

(61) [page 383]. *Cosmos*, t. IV, p. 283, p. 294 et 652 (note 34).

(62) [page 384]. Sart. Waltershausen, *Physis. geograph. Skizze von Island*, p. 108 et 112.

(63) [page 384]. Voy. les résultats des observations faites à Madère par sir Charles Lyell et Hartung, dans le *Manual of Geology*, 1855, p. 518-525.

(64) [page 385]. Voy. Darwin, *Volcanic Islands*, 1844, p. 23, et le lieut. Lee, *Cruise of the U. S. Brig Dolphin*, 1854, p. 80.

(65) [page 385]. Voy. l'excellente description de l'île l'Ascension, dans Darwin, *Volcanic Islands*, p. 40 et 41.

(66) [page 385]. Voy. Darwin, *ibid.*, p. 84 et 92, sur le *great hollow space or valley southward of the central curved ridge across which the half of the crater must once have extended.* « It is interesting, dit Darwin, to trace the steps by which the structure of a volcanic district becomes obscured and finally obliterated. » Comp. aussi Seale, *Geognosy of the Island of St-Helena*, p. 28.

(67) [page 386]. Dr. Petermann's *Geographische Mittheilungen*, 1855, n° 3, p. 84.

(68) [page 386]. Voy. Kendal, dans *Journal of the geograph. Society*, t. I, 1831, p. 62; et Dana, *U. S. Exploring Expedition*, t. X, p. 548.

(69) [page 386]. St-Paul's Rocks. Voy. Darwin, *ibid.*, p. 31-33 et 125.

(70) [page 387]. Daussy, *sur l'existence probable d'un volcan sous-marin dans l'Atlantique*, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. VI, 1838, p. 512; Darwin, *Volcanic Islands*, p. 92; Lee, *Cruise of the U. S. Brig Dolphin*, p. 2, 55 et 61.

(71) [page 388]. Gumprecht, *die vulkanische Thätigkeit auf dem Festlande von Africa in Arabien und auf den Inseln des rothen Meeres*, 1849, p. 18.

(72) [page 389]. Dufrénoy dans les *Comptes rendus*, t. XXII, p. 806-810.

(73) [page 389]. *Cosmos*, t. I, p. 534 (note 37). Sur l'ensemble des phénomènes connus jusqu'à présent en Afrique, voy. Landgrebe, *Naturgeschichte der Vulkane*, t. I, p. 195-219.

(74) [page 390]. Ainsworth a donné, pour la hauteur du Demavend, 2 298 toises au-dessus de la mer ; mais après la rectification d'une hauteur barométrique, altérée sans doute par une erreur de chiffres (*Asie Centrale*, t. III, p. 327), cette altitude est de 2914 toises, suivant les tables d'Oltmanns. Les angles de hauteur calculés certainement avec beaucoup d'exactitude en 1839, par mon ami le capitaine russe Lemm, augmentent encore ce chiffre et le portent à 3 141 toises ; mais la distance n'a pas été calculée trigonométriquement ; elle repose sur la supposition que le volcan Demavend est à 66 verstes de Téhéran (1 degré équatorial = 104 3/10 verstes). Il paraît donc que le volcan neigeux de Demavend, situé si près de la côte méridionale de la mer Caspienne, mais à 150 milles géographiques des côtes de la Colchide, dépasse le grand Ararat de 2 800 pieds et l'Elburuz du Caucase peut-être de 1 500 pieds. Sur le volcan de Demavend, voy. Ritter, *Erdkunde von Asien*, t. VI, 1re part., p. 551-571, et, sur le rapport du nom *Albordj* de la géographie mythique et par conséquent très-vague du peuple Zend, avec les noms modernes *Elburz* (Koh Alburz de Kazwini) et d'*Elburuz*, *ibid.*, p. 43-49, 424, 552 et 555.

(75) [page 391]. Humboldt, *Asie Centrale*, t. I, p. 124-129; t. II, p. 433-435.

(76) [page 391]. Humboldt, *ibid.*, t. II, p. 427 et 483.

(77) [page 392]. *Cosmos*, t. IV, p. 289 et 660 (note 58).

(78) [page 392]. Wellsted, *Travels in Arabia*, t. II, p. 466-468.

(79) [page 393]. *Cosmos*, t. I, p. 280.

(80) [page 393]. *Reisen in Europa, Asien und Afrika*, t. II, 1re part., 1843, p. 54.

(81) [page 393]. C. Ritter, *Erdkunde von Asien*, t. VIII, 1re part., p. 664-707, 889-891 et 1021-1034.

(82) [page 393]. Humboldt, *Asie Centrale*, t. I, p. 201-203; t. II, p. 7-61.

(83) [page 394]. *Asie Centrale*, t. II, p. 16-20, 39-50 et 335-364.

(84) [page 394]. *Journal of the Asiatic Society of Bengal*, t. IV, 1835, 657-664.

(85) [page 395]. *Asie Centrale*, t. II, p. 99.

(86) [page 396]. *Asie Centrale*, t. II, p. 92-104.

(87) [page 396]. *Asie Centrale*, t. II, p. 9 et 54-58; *Cosmos*, t. IV, p. 235 et note 67.

(88) [page 396]. Les hauteurs de l'Elburuz, du Kasbegk et de l'Ararat sont données d'après des communications de Struve (voy. *Asie Centrale*, t. II, p. 57). La hauteur indiquée pour le volcan éteint de Savalan, à l'ouest d'Ardebil (15 760 p. angl.), est fondée sur une mesure de Chanykow (voy. Abich, dans les *Mélanges physiques et chimiques*, t. II, p. 361). Pour éviter des répétitions fatigantes, je déclare ici que j'ai pris tout ce qui, dans la partie géologique du *Cosmos*, concerne l'isthme important du Caucase, dans les travaux manuscrits d'Abich, datant de 1852 à 1855, qu'il a bien voulu mettre à ma disposition de la manière la plus amicale et la plus désintéressée.

(89) [page 398]. Abich, *Notice explicative d'une vue de l'Ararat*, dans le *Bulletin de la Société de Géographie de France*, 4e série, t. I, p. 516.

(90) [page 400]. Erman, *Reise*, t. III, p. 253; Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 447.

(91) [page 400]. Lutke, *Voyage autour du monde;* Erman, *Reise* (histor. Bericht), t. III, p. 494 et 534-540.

(92) [page 401]. *Cosmos*, t. IV, p. 282 et 682 (note 32).

(93) [page 401]. Erman, *Reise*, t. III, p. 469.

(94) [page 401]. Lutke, *Voyage autour du Monde*, t. III, p. 85.

(95) [page 401]. Erman, *Reise*, t. III, p. 261-317 et *Physische Beobachtungen*, t. I, p. 400-403.

(96) [page 402]. Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 452; Landgrebe, *Vulkane*, t. I, p. 375.

(97) [page 403]. Erman, *Physische Beobachtungen*, t. I, p. 400-403 et 419.

(98) [page 403]. Lutke, *Voyage autour du Monde*, t. III, p. 86; Landgrebe, *Vulkane*, t. I, p. 375-386.

(99) [page 403]. Erman, *Reise*, t. III, p. 359.

(100) [page 403]. Humboldt, *Tableaux de la Nature*, t. II, p. 283 de la traduct. franç. publiée par M. Gide.

(1) [page 404]. Jules Schmidt, *Neue Bestimmungen am Vesuv*, 1856, p. 1, 16 et 33.

(2) [page 405]. *Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg*, t. XIV, 1846, p. 246.

(3) [page 405]. Erman, *Reise*, t. III, p. 221, 228 et 273; Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 454.

(4) [page 405]. *Cosmos*, t. IV, p. 353.

(5) [page 406]. Comp. les ingénieuses remarques de Dana, sur les *Curvatures of ranges of islands*, dont la convexité est presque généralement dirigée, dans l'océan Pacifique, vers le Sud ou le Sud-Est (*U. St. Exploring Expedition by Wilkes*, t. X, 1849, p. 419).

(6) [page 406]. L'île Saghalin Tschoka ou Tarakai est désignée par les marins du Japon sous le nom de Krafto, que l'on écrit Karafuto. Elle est située en face de l'embouchure du fleuve Amour (fleuve Noir, Saghalian Ula) et habitée par des Ainos, de couleur foncée, quelquefois un peu velus et de mœurs douces. L'amiral Crusenstern, comme auparavant La Pérouse (1787) et Broughton (1797), croyait que Saghalin était en communication avec le continent de l'Asie par un isthme étroit et sablonneux (lat. 52° 5'); mais d'après les curieux renseignements communiqués sur le Japon par François de Siebold, une carte tracée en 1808 par Mamia Rinsô, chef d'une Commission impériale japonnaise, représenterait Krafto non comme une presqu'île, mais comme une île (Ritter, *Erdkunde von Asien*, t. III, p. 488). Siebold nous mande que le résultat obtenu par Mamia Rinsô a été pleinement confirmé, en 1855, par ce fait que la flotte russe, amarrée dans la baie de Castries (lat. 51° 29'), près Alexandrowsk, par conséquent au sud de l'isthme prétendu, put cependant se retirer dans l'embouchure de l'Amour (lat. 52° 54'). On n'a trouvé, il est vrai, sur certains points, à l'endroit où l'on supposait qu'il existait une communication, qu'une profondeur de cinq nœuds. L'île commence à prendre une importance politique, à cause de la proximité des grands fleuves Amour et Saghalin. Son nom, qu'on prononce Karafto ou Krafto, est la contraction du mot Kara-fu-to, ce qui veut dire, d'après le savant et ingénieux Siebold, *l'île qui borne Kara*. Le mot *Kara* désigne, dans le dialecte chinois-japonnais, la *Chine du Nord* (la Tartarie), et *fu*, signifie *voisin*, *limitrophe*. *Tschoka* est une corruption de *Tsjokaï*, et *Tarakai* est tiré, par un malentendu, du nom d'un

village isolé nommé *Taraika*. D'après Klaproth (*Asia polyglotta*, p. 301), *Taraikai* ou *Tarakai* serait le nom indigène de l'île tout entière. Comp. les notes de Léop. Schrenk et du capitaine Bernard Wittingham, dans Petermann, *Geograph. Mittheilungen*, 1856, p. 176 et 184; et Perry, *Expedition to Japan*, t. I, p. 468.

(7) [page 408]. Dana, *Geology of the Pacific Ocean*, p. 16. Outre les failles méridiennes de l'archipel situé au sud-est de l'Asie, les côtes de la Cochinchine à partir du golfe de Tonkin, les côtes de Malacca depuis le golfe de Siam et même celles de la Nouvelle-Hollande au sud du 25e parallèle, sont aussi le plus souvent découpées dans la direction du Nord au Sud.

(8) [page 411]. *Entdeckungs-Reise*, t. II, p. 106.

(9) [page 413]. Humboldt, *Fragments de Géologie et de Climatologie asiatiques*, t. I, p. 217-234, et *Asie Centrale*, t. II, p. 540-552.

(10) [page 415]. Wilhelm Heine, *Reise nach Japan*, 1856, t. II, p. 4.

(11) [page 417]. Fr. von Siebold, *Atlas vom Japan. Reiche*, tab. XI.

(12) [page 417]. Landgrebe, *Naturgeschichte der Vulcane*, t. I, p. 355.

(13) [page 418]. Lutke, *Voyage autour du Monde, dans les années* 1826-1829, t. III, p. 117.

(14) [page 419]. Comp. les fragments tirés de l'*Encyclopédie japonnaise*, et traduits par Stanislas Julien, dans mon *Asie centrale*, t. II, p. 551.

(15) [page 420]. Voy. *Kaart van den Zuid-en-Zuidwest-Kust van Japan door* F. von Siebold, 1851.

(16) [page 421]. Commod. Perry, *Expedition to Japan*, t. I, p. 200, 209 et 500.

(17) [page 421], Comp. mes *Fragments de Géologie et de Climatologie asiatiques*, t. I, p. 82, qui ont paru peu après mon retour de Sibérie, et l'*Asie Centrale*, où j'ai combattu l'opinion de Klaproth, que j'avais jadis partagée moi-même, et qui présentait comme probable la connexité des montagnes neigeuses de l'Himalaya avec la province chinoise de Yun-nan, qui, sous le nom de Nanling, forme le nord-ouest de Canton. Les montagnes de Formosa, hautes de 11 000 pieds, appartiennent, ainsi que le Ta-gu-ling, qui borne Fu-kian du côté de l'Ouest, au système de failles méridiennes qui sillonne l'Assam supérieur, dans le pays des Birmans et dans le groupe des Philippines.

(18) [page 422]. *Cosmos*, t. IV, p. 278.

(19) [page 422]. Dana, *Geology*, dans le recueil de l'*Exploring Expedition*, t. X, p. 540-545; Ernst Hofmann, *Geognost. Beobach. auf der Reise von Kotzebue*, p. 70; Léop. de Buch, *Description physique des îles Canaries*, p. 435-439. Comp. la grande et excellente carte en deux feuilles, des *Islas Filippinas*, par le pilote Don Antonio Morati (Madrid, 1852).

(20) [page 423]. Marco Polo distingue (parte III, c. 5 et 8), *Giava minore* (Sumatra), où il a séjourné pendant cinq mois, et où il a décrit l'Éléphant, qui n'existe pas à Java (voy. Humboldt, *Examen crit. de l'Hist. de la Géographie*, t. II, p. 218), de *Giava maggiore*, décrite antérieurement, et dont il dit « la quale, secondo dicono i marinai, che bene lo sanno, é l' isola più grande che sia al mondo. » Cette observation est encore vraie aujourd'hui. D'après la carte de Bornéo et de Celebes par James Brooke et le cap. Rodney Mundy, je trouve que la surface de Bornéo, qui est de 12 920 milles carrées, est à peu près équivalente à celle de l'île de la Nouvelle-Guinée, mais représente un dixième seulement du conti-

nent de la Nouvelle-Hollande. La quantité d'or et les immenses richesses que, d'après les indications de Marco Polo, les *Mercanti di Zaiton e del Mangi* exportaient de cette contrée, prouvent que sous le nom de *Java major* il entendait Bornéo, comme Martin Behaim, sur le globe de Nurenberg (1492), et Jean Ruysch, dans l'édition de Ptolémée qu'il publia à Rome en 1808, et qui est d'une si grande importance pour l'histoire de la découverte de l'Amérique.

(21) [page 423]. La carte du cap. Mundy (*Coast of Borneo proper*, 1847) donne même 14 000 pieds anglais (13 135 p. de Paris). Voyez les doutes que l'on a élevés sur cette évaluation, dans Junghuhn, *Java*, t. II, p. 850. Le colosse Kina-Bailu n'est pas une montagne conique; il ressemble plutôt par sa forme aux montagnes de basalte qui se trouvent sous toutes les latitudes, et présentent une longue croupe terminée par deux sommets arrondis.

(22) [page 424]. Brooke, *Borneo and Celebes*, t. II, p. 382, 384 et 386.

(23) [page 424]. Horner, dans les *Verhandelingen van het Bataviaasch Genootschap van kunsten en wetenschappen*, deel XVII, 1839, p. 284; *Asie centrale*, t. III, p. 534-537.

(24) [page 424]. *Cosmos*, t. IV, p. 322-332.

(25) [page 424]. Junghuhn, *Java*, t. II, p. 809 (*Battaländer*, t. I, p. 39).

(26) [page 425]. *Cosmos*, t. IV, p. 325 et 694 (note 94).

(27) [page 426]. *Java*, t. II, p. 818-828.

(28) [page 426]. *Ibid.*, p. 840-842.

(29) [page 427]. *Ibid.*, p. 853.

(30) [page 429]. Lyell, *Principles of Geology*, 1853, p. 447, où l'on trouve une belle vue et une projection du volcan.

(31) [page 429]. Léop. de Buch, dans les *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, années 1818 et 1819, p. 62.

(32) [page 429]. Silliman's *American Journal*, t. XXXVIII, p. 385.

(33) [page 430]. Bory de Saint-Vincent, *Voyage aux quatre îles d'Afrique*, t. II, p. 429.

(34) [page 430]. Darwin, *Coral Reefs*, p. 122.

(35) [page 431]. Valentyn, *Beschryving van Oud en Nieuw Oost-Indiën*, deel III, 1726, p. 70 : *Het Eyland St. Paulo.* Comp. Lyell, *Principles*, p. 446.

(36) [page 432]. « Nous n'avons pu former, dit d'Entrecasteaux, aucune conjecture sur la cause de l'incendie de l'île d'Amsterdam. L'île étoit embrasée dans toute son étendue, et nous avons bien distinctement reconnu l'odeur de bois et de terre brûlés. Nous n'avons rien senti qui pût faire présumer que l'embrasement fût l'effet d'un volcan » (t. I, p. 45). « Cependant, avait-il déjà dit (p. 43), l'on a remarqué, le long de la côte que nous avons suivie, et d'où la flamme étoit assez éloignée, de petites bouffées de fumée qui sembloient sortir de la Terre comme par jets; on n'a pu néanmoins distinguer la moindre trace de feu tout autour, quoique nous fussions très-près de la Terre. Ces jets de fumée se montrant par intervalle ont paru à MM. les naturalistes être des indices presqu'assurés de feux souterrains. » Est-ce le cas de supposer des incendies souterrains, la combustion des couches de lignite, recouvertes de basalte et de tuf, qui se trouvent si fréquemment dans les îles volcaniques, à Bourbon, dans le pays des Kerguèles, en Islande? Le nom du *Surtarbrand*, situé en Islande, est tiré des mythes scandinaves, et emprunté au géant du feu *Surtr*, qui doit enflammer le monde. Mais les incendies souterrains ne produisent ordinairement pas de

flammes. — Comme dans les derniers temps on a souvent confondu, sur les cartes, les noms des îles d'*Amsterdam* et de *Saint-Paul*, nous tenons à faire remarquer ici, afin que l'on n'attribue pas à l'une de ces deux îles, situées sous le même méridien, mais de configuration si différente, ce qui est vrai de l'autre, que la plus méridionale a été nommée originairement, c'est-à-dire dès la fin du XVIIe siècle, *Saint-Paul*, et la plus septentrionale, *Amsterdam*. Vlaming, qui les découvrit, assigna à la première 38° 40′ de latitude australe, et à la seconde 37° 48′. Il est remarquable que ces noms et ces déterminations de lieu s'accordent parfaitement avec ce qu'a trouvé, un siècle plus tard, d'Entrecasteaux, dans l'expédition qu'il entreprit à la recherche de La Pérouse (*Voyage*, t. I, p. 43-45); à savoir, d'après Beautemps-Beaupré, pour *Amsterdam*, 37° 47′ 46″ (long. 75° 51′) et 38° 38′ pour *Saint-Paul*. Une concordance si grande doit être fortuite, puisque les points d'observations n'ont certainement pas été tout à fait les mêmes. De son côté, le cap. Blackwood a, sur sa carte de l'Amirauté pour 1842, placé l'île *Saint-Paul* par 38° 44′ (longit. 75° 17′). Sur les cartes jointes à l'édition originale de l'immortel navigateur Cook, sur celles de la première et de la deuxième expédition (*Voyage to the South Pole and round the World*, Lond., 1777, p. 1), ainsi que sur celle du troisième et dernier voyage (*Voyage to the Pacific Ocean, published by the Admiralty*, Lond., 1784; voy. aussi la 2e édit. de 1785), et même sur la carte générale des trois expéditions (*a general Chart, exhibiting the discoveries of capt. Cook in this third and two preceding voyages*, by lieut. Henry Roberts), l'île *Saint-Paul* est exactement indiquée comme la plus méridionale; mais dans le texte de son Voyage, d'Entrecasteaux (t. I, p. 44) relève une erreur commise sur la carte spéciale de la dernière expédition de Cook, où l'île d'*Amsterdam* se trouverait plus au Sud que celle de *Saint-Paul*. Après de nombreuses recherches faites sur les éditions existant dans les Bibliothèques de Paris, de Berlin et de Gœttingue, je

doute fort que le reproche soit fondé. Si, contrairement à la pensée de Willem de Vlaming, les noms sont souvent intervertis de cette manière dans le premier tiers du XIXe siècle, par exemple sur les cartes du monde, recommandables d'ailleurs, qu'ont publiées Arrowsmith et Purdy (1833), il faut s'en prendre non pas tant à la carte spéciale du troisième voyage de Cook, qu'à la manière capricieuse dont Cox et Mortimer ont dressé les leurs ; à cette circonstance que, dans l'Atlas du voyage de lord Macartney en Chine, la belle île volcanique représentée fumante est très-justement appelée *Saint-Paul* (latit. 38°42′), mais avec cette addition malheureuse : « commonly called Amsterdam » ; enfin, et cela est pis encore, à ce que, dans la description du voyage, Staunton et le docteur Gillan désignent toujours cette île (island still in a state of inflammation) sous le nom d'*Amsterdam*, et qu'ils ajoutent même (p. 226), après avoir donné la vraie latitude (p. 219) : « that St-Paul is lying to the northward of Amsterdam ». Barrow a fait aussi la même confusion (*Voyage to Cochinchina in the years* 1792 *and* 1793, p. 140-157) ; il appelle également *Amsterdam* la plus méridionale des deux îles, d'où s'élèvent des flammes et de la fumée, et à laquelle il donne aussi pour latitude 38° 42′. Malte-Brun (*Précis de la Géographie universelle*, t. V, 1817, p. 146) accuse avec raison Barrow, mais fort à tort M. de Rossel et Beautemps-Beaupré. Ces deux derniers, qui n'ont donné que la vue de l'île d'*Amsterdam*, la placent par 37°47′, tandis qu'ils assignent pour latitude à l'île *Saint-Paul* 38° 38′ (*Voyage de d'Entrecasteaux*, 1808, t. I, p. 40-46) ; pour prouver que la gravure représente bien l'île d'*Amsterdam* de Willem de Vlaming, Beautemps-Beaupré ajoute à son atlas le dessin d'une autre île d'amsterdam découverte par Valentyn et couverte d'épaisses forêts. Le célèbre navigateur Abel Tasman (1642) a appelé aussi Amsterdam l'île Tonga-tabu, située à côté de Middelburg, dans le groupe de Tonga, par 21° 30′ de latitude (voy. Burney, *Chronological history of the Voyages and Discoveries in the South-Sea or Pacific*

Ocean, 3ᵉ part., p. 81 et 437). C'est pour cette raison que l'on a quelquefois attribué par malentendu à Tasman la découverte des îles Amsterdam et Saint-Paul, dans l'océan des Indes. Voy. Leidenfrost, *Histor. Handwörterbuch*, t. V, p. 310.

(37) [page 432]. Sir James Ross, *Voyage in the southern and antarctic Regions*, t. I, p. 46 et 50-56.

(38) [page 433]. *Ibid.*, p. 63-82.

(39) [page 434]. Voy. le résultat des opérations exécutées par le professeur Rigaud à Oxford, d'après la méthode proposée par Halley en 1683, dans l'*Asie Centrale*, t. I, p. 189.

(40) [page 435]. D'Urville, *Voyage de la corvette l'Astrolabe*, 1826-1829 (*Atlas*, pl. I) : 1° la Polynésie comprend la partie orientale de la mer du Sud, c'est-à-dire les îles Sandwich et Tahiti, l'archipel Tonga, et de plus la Nouvelle-Zélande; 2° la Micronésie et la Mélanésie forment la partie Ouest de la mer du Sud ; la première s'étend de Kauai, la plus occidentale des îles Sandwich, jusque près du Japon et des Philippines, et vers le Sud atteint l'équateur, en comprenant les îles Mariannes ou des Larrons, les îles Carolines et Pelew; 3° la Mélanésie, qui tire son nom de la race d'hommes aux cheveux noirs et bouclés qui l'habitent, renferme, du côté de la Malaisie qui la borne au Nord-Ouest, les petits archipels de Viti ou Fidgi, des Nouvelles-Hébrides et des îles Salomon ; plus loin, elle comprend les îles plus considérables de la Nouvelle-Calédonie, de la Nouvelle-Bretagne, de la Nouvelle-Irlande et de la Nouvelle-Guinée. Les noms d'Océanie et de Polynésie, qui ont produit tant de confusion, ont été introduits par Malte-Brun (1813) et par Lesson (1828).

(41) [page 435]. « The epithet *scattered*, as applied to the islands of the Ocean (in the arrangement of the groups), conveys a very incorrect idea of their positions. There is a system in their arrangement as regular as in the mountain

heights of a continent, and ranges of elevations are indicated as grand and extensive as any continent presents. (*Geology, by J. Dana, or U. St. Exploring Expedit. under the command of Charles Wilkes*, t. X, 1849, p. 12). Dana compte dans toute la mer du Sud 350 îles de basalte et de trachyte, et 290 îles de coraux, sans y comprendre les simples îlots de rochers. Il divise ces îles en 25 groupes, dont 19 suivent en moyenne la direction N. 50° — 60° O., et 6 la direction N. 20° — 30° E. Il est très étonnant qu'un si grand nombre d'îles soient situées, à quelques exceptions près, comme les îles Sandwich et la Nouvelle-Zélande, entre 23° 28′ de latitude boréale et 23° 28′ de latitude australe, et qu'il reste un espace immense sans îles à l'est des groupes Sandwich et Noukahiva, jusqu'aux côtes du Mexique et du Pérou. Dana ajoute cette observation, qui contraste avec le nombre insignifiant des volcans encore en activité, que, si les îles de coraux qui se trouvent placées entre des îles basaltiques ont également un fond de basalte, on peut évaluer à plus de mille le nombre des ouvertures volcaniques, situées au-dessus ou au-dessous de la surface de la mer (ouvertures sous-marines et sous-aériennes). Voy. *ibid.*, p. 17 et 24.

(42) [page 437]. Comp. *Cosmos*, t. IV, p. 283 et 654 (note 42).

(43) [page 437]. Dana, *Geology of the U. St. Explor. Expedition*, p. 208 et 210.

(44) [page 438]. Dana, *ibid.*, p. 193 et 201. L'absence de cônes de cendres dans les volcans à coulées de lave de l'Eifel est également remarquable. Mais ce fait que le cratère situé au sommet du Mauna-Loa peut avoir également des éruptions de cendre est prouvé par les renseignements certains que le missionnaire Dibble a recueillis de la bouche de témoins oculaires, d'après lesquels, pendant la guerre de Kamehameha contre les insurgés (1789), une éruption de

cendres accompagnée d'un tremblement de terre plongea toute la contrée dans une obscurité profonde (voy. p. 183). Sur les fils de verre volcaniques appelés *cheveux de la déesse Pele*, qui, avant d'aller s'établir à Hawaii, habitait le volcan maintenant éteint de Hale-a-Kala, ou *maison du Soleil*, dans l'île Maui, voy. *ibid.*, p. 179 et 199-200.

(45) [page 438]. Dana, *ibid.*, p. 205 : « The term *Solfatara* is wholly misapplied. A Solfatara is an area with steaming fissures and escaping sulphur vapours, and without proper lava ejections; while *Kilauea* is a vast crater with extensive lava ejections and no sulphur, except that of the sulphur banks, beyond what necessarily accompanies, as at Vesuvius, violent volcanic action. » L'échafaudage de Kilauea, qui forme le sol du grand bassin de lave, se compose, non pas de couches de cendres et de roches fragmentaires, mais de laves disposées en assises horizontales et stratifiées comme du calcaire. Voy. Dana, *ibid.*, p. 193, et comp. E. de Strzelecki, *Phys. descript. of New-South-Wales*, 1845, p. 105-111.

(46) [page 439]. Cet abaissement remarquable du niveau de la lave est confirmé par l'expérience d'un grand nombre de voyageurs, depuis Ellis, Stewart et Douglas jusqu'au savant comte Strzelecki, à l'expédition de Wilkes, et à un observateur très-attentif, le missionnaire Coan. Le rapport qui existe entre le gonflement de la lave dans le Kilauea et l'inflammation subite du cratère Arare, situé beaucoup plus bas, s'est manifesté surtout lors de la grande éruption du mois de juin 1840. La disparition du torrent de lave sorti de l'Arare, sa course souterraine, et la réapparition d'un torrent sous un volume plus considérable ne démontrent pas d'une manière certaine l'identité de ces torrents, parce que beaucoup de fissures rejetant des laves se sont ouvertes simultanément le long du versant de la montagne, au-dessous de l'horizon du sol sur lequel repose le bassin de Kilauea. Il est encore très-remarquable, pour la constitution intérieure de ce singulier volcan

d'Hawaii, que, en juin 1832, les deux cratères, celui du sommet et celui de Kilauea, ont l'un occasionné, l'autre déversé des torrents de lave, qu'ainsi tous deux ont été actifs en même temps. Comp. Dana, *ibid.*, p. 184, 188, 193 et 196.

(47) [page 440]. Wilkes, p. 114, 140 et 157; Dana, p. 221. On écrit souvent Mauna-Roa pour Mauna-Loa et Kirauea pour Kilauea, à cause de la confusion éternelle des lettres *r* et *l*.

(48) [page 441]. Dana, *ibid.*, p. 25 et 138.

(49) [page 441]. Dana, *ibid.*, p. 138. Voy. aussi Darwin, *Structure of Coral Reefs*, p. 60.

(50) [page 443]. Léop. de Buch, *Description physique des îles Canaries*, 1836, p. 393 et 403-405.

(51) [page 443]. Dana, *ibid.*, p. 438-446. Voy. aussi, sur les traces fraîches d'une ancienne activité volcanique dans la Nouvelle-Hollande, p. 453 et 457, et sur les nombreux basaltes colonnaires de la Nouvelle-Galles du Sud et de la Terre de Van Diémen, p. 495-510, ainsi que E. de Strzelecki : *Phys. descript. of New-South-Wales*, p. 112.

(52) [page 443]. Dana, *ibid.*, p. 453.

(53) [page 444]. Ernest Dieffenbach, *Travels in New-Zealand*, 1843, t. I, p. 337, 355 et 401. Dieffenbach appelle *White Island* : « a *smoking* solfatara, but still in volcanic activity » (p. 358 et 407); on lit sur la carte ces mots: « in continual ignition ».

(54) [page 445]. Dana, *ibid.*, 445-448; Dieffenbach, t. I, p. 331, 339-341 et 397. Sur Mount Egmont, voy. *ibid.*, t. I, p. 131-157.

(55) [page 446]. Darwin, *Volcanic Islands*, p. 125; Dana, *ibid.*, p. 140.

(56) [page 446). Léop. de Buch, *Descript. des îles Canaries*, p. 365. Dans ces trois îles, on trouve, à côté de couches plutoniques et sédimentaires, du phonolithe et des roches basaltiques; mais ces roches peuvent avoir paru à l'époque où pour la première fois les îles furent soulevées du fond de la mer à la surface. Il paraît qu'on ne trouve aucune trace d'éruptions ignées datant des temps historiques, non plus que de cratères éteints.

(57) [page 447]. Dana, *ibid.*, p. 343-350.

(58) [page 448]. Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 383; Darwin, *Volcanic Islands*, p. 25, et *Coral Reefs*, p. 138; Dana, *Geology*, etc., p. 286-305 et 364.

(59) [page 449]. Dana, *ibid.*, p. 137.

(60) [page 450]. Darwin, *Volcanic Islands*, p. 104, 110-112 et 114. Si Darwin dit si positivement que le trachyte manque complétement dans les îles Galapagos, cela vient de ce qu'il borne la dénomination de trachyte au feldspath commun proprement dit, c'est-à-dire à l'orthoclase, ou bien à l'orthoclase et au sanidin (feldspath vitreux). Les fragments si énigmatiquement empâtés dans la lave du petit cratère, entièrement basaltique, de James Island ne contiennent pas de quartz, quoiqu'ils paraissent reposer sur une roche plutonique. Comp. *Cosmos*, t. IV, p. 348 et 385. Plusieurs des cônes volcaniques appartenant aux îles Galapagos ont à l'orifice un parapet étroit et cylindrique en forme d'anneau, comme j'en ai vu sur le Cotopaxi. « In some parts the ridge is surmounted by a wall or parapet perpendicular on both sides. » (Darwin, *Volcanic Islands*, p. 83.)

(61) [page 451]. Léop. de Buch, *Iles Canaries*, p. 376.

(62) [page 451]. Bunsen, dans Leonhard's *Jahrbuch für Mineralogie*, 1851, p. 856, et dans Poggendorff's *Annalen der Physik*, t. LXXXIII. p. 223.

(63) [page 452]. *Cosmos*, t. IV, p. 307-309 et 680 (note 78).

(64) [page 452]. Voy. Pieschel, *über die Vulcane von Mexico*, dans la *Zeitschrift für allgem. Erdkunde*, t. VI, 1856, p. 86 et 489-532. La déclaration que « jamais mortel n'a gravi le sommet aride du *Pico del Fraile* », le point le plus élevé du volcan de Toluca (p. 86), est contredite par les mesures barométriques que j'ai prises sur ce sommet d'une largeur de 10 pieds à peine, et que j'ai publiées dès l'année 1807. Elle a été aussi combattue dernièrement, dans le même volume du même Recueil (p. 489), par le docteur Gumprecht. Un pareil doute était d'autant plus étrange que c'est justement du *Pico del Fraile*, taillé en forme de tour et fort difficile en effet à atteindre, que j'ai détaché, sur une hauteur inférieure de 600 pieds à peine au faîte du Mont-Blanc, des masses de trachyte percées par la foudre et vitrifiées à l'intérieur comme des fulgurites. Gilbert a publié en 1819, dans le LXI[e] volume de ses *Annalen der Physik* (p. 261, comp. aussi *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIX, 1822, p. 298), un travail sur les échantillons que j'ai déposés dans plusieurs collections de Paris et de Berlin. Aux endroits où la foudre a perforé des tuyaux cylindriques longs de 3 pouces; de telle sorte qu'on peut en distinguer les deux ouvertures, la roche qui entoure ces ouvertures est également vitrifiée. J'ai rapporté aussi des morceaux de trachyte, dont toute la surface était vitrifiée, comme sur le petit Ararat ou sur le Mont-Blanc, quoiqu'il n'y eût pas de tuyaux forés. M. Pieschel a fait, en octobre 1852, l'ascension du Colima, surmonté d'un double sommet, et est parvenu jusqu'au cratère, d'où il n'a vu s'élever que des nuages de vapeurs hydrosulfuriques chaudes. Mais Sonneschmid, qui, en février 1796, avait tenté vainement l'ascension de ce volcan, a signalé une puissante éruption, à la date de 1770. Dans le mois de mars 1795, des scories ignées s'échappèrent comme une colonne de feu. — « Au nord-ouest du Colima, dit Pieschel (*ibid.*, p. 529), une crevasse

volcanique s'étend le long de la mer du Sud. On reconnaît des cratères éteints et des coulées de laves anciennes dans ce que l'on appelle les volcans d'Ahuacatlan, sur la route de Guadalaxara à San Blas, et dans ceux de Tépic.

(65) [page 453]. *Cosmos*, t. IV, p. 406-413.

(66) [page 455]. Le nom de Grand-Océan, proposé par un savant géographe, mon ami le contre-amiral de Fleurieu, auteur de l'*Introduction historique au Voyage de Marchand*, pour désigner la mer du Sud, a l'inconvénient de confondre le tout avec la partie et de jeter de la confusion.

(67) [page 456]. Sur l'axe des plus grandes hauteurs et des volcans, dans la zone tropicale du Mexique, voy. *Cosmos*, t. IV, p. 307 et 346. Comp. aussi, *Essai polit. sur la Nouvelle-Espagne*, t. I, p. 257-268; t. II, p. 173, et *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 327-336.

(68) [page 457]. Sous la conduite de Juan de Oñate en 1594 (voy. *Memoir of a Tour to Northern Mexico in* 1846 *and* 1847, by Dr Wislizenus). Pour l'influence produite par la configuration du sol et l'immense étendue du plateau mexicain sur le commerce intérieur et les communications de la zone tropicale avec le Nord, quand l'ordre civil, la liberté légale et l'industrie fleuriront dans cette contrée, voy. mon *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. IV, p. 38, et Dana, *Geology*, etc., p. 612.

(69) [page 458]. Ce relevé des hauteurs entre Mexico et Santa-Fé del Nuevo-Mexico, ainsi que le relevé, moins complet, que j'ai donné dans mes *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 334 de la traduct. franç., a été comparé avec les mesures du docteur Wislizenus, auteur de l'ouvrage très-instructif intitulé : *Memoir of a tour to Northern Mexico, connected with Col. Doniphan's Expedition in* 1846 *and* 1847, Washington, 1848; avec celles du Conseiller supérieur

des Mines Burkart et avec les miennes propres. Lorsque, de mars 1803 à février 1804, je m'occupais, dans la zone tropicale de la Nouvelle-Espagne, de déterminations de lieux astronomiques, et que j'essayais de tracer, d'après tous les matériaux que je pus examiner, une carte générale de la Nouvelle-Espagne, dont mon vénérable ami, Thomas Jefferson, alors président des États-Unis, fit faire une copie qui a donné lieu plus tard à beaucoup d'abus, on n'avait encore, à l'intérieur, déterminé aucune latitude sur la route de Santa-Fé, au nord de Durango (latit. 24° 25'). D'après les deux Journaux manuscrits des ingénieurs Rivera, Lafora et Mascaró (1724 et 1765), qui contenaient des directions de boussole et des évaluations précieuses de distances partielles, et que j'ai trouvés dans les archives du Mexique, un calcul attentif donna, pour l'importante station de Santa-Fé : lat. 36° 12', long. 108° 13' (voy. mon *Atlas géographique et physique du Mexique*, tab. 6, et *Essai politique*, t. I, p. 75 et 82). En faisant connaître ce résultat dans l'analyse de ma carte, j'ai eu soin de le présenter comme très-incertain, parce que, pour les estimations de distances comme pour les directions de boussole, lorsque la déclinaison magnétique n'est pas corrigée, toutes les erreurs ne se compensent pas, surtout sur une plaine de plus de 300 milles géographiques, sans arbres et sans habitations, où rien ne peut servir de point de repère (*ibid.*, t. I, p. 127-131). Par un effet du hasard, en comparant le résultat que nous venons d'indiquer avec les dernières observations astronomiques, on reconnaît que l'erreur est beaucoup plus grande pour la latitude que pour la longitude ; elle est, dans le premier cas, de 31 minutes d'arc, dans le second, de 23. J'ai réussi aussi à déterminer approximativement, par des combinaisons, la situation géographique du lac Timpanogos, qu'on a pris l'habitude d'appeler *Great Salt Lake*, en réservant le nom de Timpanogos pour la rivière qui se jette dans le petit lac d'eau douce appelé lac Youtah. Dans la langue

des Indiens Youtah, qui habitent près du lac, rivière se dit *og-wahbe*, ou par abréviation *ogo; timpan* signifie *rocher; Timpan-ogo* signifie, par conséquent, *rivière de rochers* (voy. Frémont, *Explor. Expedit.*, 1845, p. 273). Buschmann, qui considère le mot *timpa* comme un dérivé du mot mexicain *tetl*, pierre, a découvert que *pa* est une désinence substantive propre aux langues du Mexique septentrional : il donne à *ogo* la signification générale d'*eau*. Voyez son ouvrage intitulé : *die Spuren der aztekischen Sprache im nördlichen Mexico*, p. 351 et 354-356. La *Great Salt Lake City* des Mormons est située par 40° 46′ de latit., 114° 26′ de longit. Voy. *Expedition to the Valley of the Great Salt Lake of Utah*, by capt. Howard Stansbury, 1852, p. 300; et Humboldt, *Tableaux de la Nature*, t. I, p. 331. Ma carte indique des montagnes de sel gemme un peu à l'est de la Laguna de Timpanogos, par 40° 7′ de latit., 114° 9′ de longit. Ainsi, ma première supposition s'écarte de la vérité de 39′ en lat. et de 17′ en long. Les déterminations les plus récentes de Santa-Fé qui soient venues à ma connaissance sont : 1° d'après un grand nombre de hauteurs d'étoiles calculées par le lieutenant Emory (1846), 35° 44′ 6″; 2° d'après Gregg et le Dr Wislizenus (1848), peut-être dans une localité différente, 35° 41′ 6″. La longitude est, suivant Emory, 7h 4m 18s temps de Greenwich, ce qui revient à 108° 50′ d'arc, comptés du méridien de Paris; suivant Wislizenus, elle est de 108° 22′ (voy. *New Mexico and California by Emory*, Docum. No. 41, p. 36; Wislizenus, p. 29). La plupart des cartes commettent la faute d'assigner aux lieux placés dans les environs de Santa-Fé une latitude trop septentrionale. La hauteur de Santa-Fé au-dessus de la mer est, d'après Emory, de 6422 p.; d'après Wislizenus, de 6611 (moyenne 6516 p.). Elle est égale, par conséquent, à celle des passages du Splügen et du St-Gotthard, dans les Alpes suisses.

(70) [page 438]. La latitude d'Albuquerque est empruntée à

la belle carte intitulé : *Map of the Territory of New Mexico by Kern*, 1854. La hauteur est de 4 457 pieds d'après Emory (p. 166); de 4 559 pieds, d'après Wislizenus (p. 122).

(71) [page 458]. Pour la latitude du *Paso del Norte*, voy. Wislizenus, p. 125; Metr. tables, 8-12, août 1846.

(72) [page 460]. Comp. Frémont, *Report of the Exploring Expedit. in* 1841, p. 60; Dana, *Geology of the U. St. Expl. Exped.*, p. 611-613; et pour l'Amérique du Sud : Alcide d'Orbigny, *Voyage dans l'Amérique méridionale*, Atlas, pl. VIII de Géologie spéciale, fig. 1.

(73) [page 460]. Sur cette bifurcation et sur les dénominations légitimes de chaînes orientale et occidentale, comp. la grande carte spéciale du *Territory of New Mexico*, de Parke et Kern, 1851; Edwin Johnson, *Map of Railroads*, 1854; John Bartlett's *Map of the Boundary Commission*, 1854; *Explorations and Surveys from the Mississipi to the Pacific in* 1853 *and* 1854, t. I, p. 15 ; et avant tout, le travail complet et excellent de Jules Marcou, attaché comme géologue à l'expédition commandée par le lieutenant Whipple : *Résumé explicatif d'une Carte géologique des États-Unis et d'un Profil géologique allant de la vallée du Mississipi aux côtes de l'océan Pacifique*, p. 113-116 (voy. aussi le *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XII, p. 813). Dans la vallée longitudinale, qui s'étend depuis 35° jusqu'à 38° 30′ de lat. bor., les groupes qui composent la chaîne occidentale de la Sierra Madre et la chaîne orientale des Rocky Mountains (Sierra de Sandia) ont chacun un nom particulier. A la première chaîne appartiennent, du Sud au Nord : la *Sierra de las Grullas*, la *Sierra de los Mimbres* (Wislizenus, p. 22 et 54), le mont Taylor (lat. 35° 15′), la *Sierra de Jemez* et la *Sierra de San Juan;* dans la chaîne orientale on distingue : les *Moro Pics*, la *Sierra de la Sangre de Christo*, avec les *Spanish Peaks* situés plus à l'Est (lat. 37° 32′), les *White Mountains*

qui inclinent au Nord-Ouest, et entourent la vallée longitudinale de Taos et de Santa-Fé. Le professeur Jules Frœbel, dont j'ai déjà cité plus haut les recherches sur les volcans de l'Amérique centrale (*Cosmos*, t. IV, p. 673), a fait ressortir avec beaucoup de sagacité ce qu'il y de vague dans la dénomination géographique de *Sierra Madre*, souvent indiquée sur les anciennes cartes. Mais dans le Mémoire intitulé : *Remarks contributing to the physical Geography of the North American Continent* (9th annual Report of the Smithsonian Institution, 1855, p. 272-281), il a soutenu aussi, ce que je ne peux admettre en aucune façon, après la comparaison de tant de matériaux dont nous disposons aujourd'hui, à savoir : que les *Rocky Mountains* ne doivent nullement être considérés comme la continuation du plateau mexicain, dans la zone tropicale d'Anahuac. Il n'existe pas, en effet, entre 19° et 44° de latitude boréale, depuis le Popocatepetl, dans la région d'Anahuac, jusqu'au nord du pic Frémont, dans les *Rocky Mountains*, de chaînes de montagnes non interrompues, comme il y en a dans les Apennins, le Jura, la Suisse, les Pyrénées et une grande partie des Alpes; mais l'immense gonflement du sol qui augmente toujours en largeur, dans la direction du Nord et du Nord-Ouest, s'étend sans interruption de la zone tropicale du Mexique à l'Orégon; et sur ce plateau, qui est le phénomène géognostique principal, s'élèvent, le long de failles formées plus tard, à des époques et souvent dans des directions différentes, des groupes de montagnes isolées. Dans les *Rocky Mountains*, ces groupes se rapprochent et se pressent, de manière à former presque un immense rempart, sur une étendue de 8 degrés de latitude. Des montagnes coniques, formées le plus souvent de trachyte, et hautes de 10 000 à 12 000 pieds, apparaissent de loin au voyageur et font sur lui une impression d'autant plus profonde que le plateau d'où elles se détachent semble être une plaine des basses terres. Il ne faut pas oublier non plus que si, depuis le temps de La Condamine, les Cordillères de l'Amé-

rique méridionale, dont j'ai exploré moi-même une grande partie, sont présentées comme divisées en deux et trois rangées, ce qui est d'ailleurs conforme à l'expression espagnole *las Cordilleras de los Andes*, ici, les longues croupes ou les rangées de dômes qui forment des groupes de montagnes distincts ne sont nullement parallèles entre elles, non plus qu'à la direction générale du plateau.

(74) [page 461]. Frémont, *Explor. Expedit.*, p. 281-288. Lat. du *Pike's Peak*, 38° 50′ (voy. le dessin de cette montagne, p. 114); lat. du *Long's Peak*, 40° 15′; voy. aussi l'ascension du *Fremont's Peak* (haut., 13 570 feet), p. 70. Les *Wind River Mountains* doivent leur nom aux sources d'un affluent du *Big Horn River*, dont les eaux grossissent le *Yellow Stone*, qui se jette lui-même dans le Missouri supérieur (lat., 47° 58′; long., 103° 27′). Voy. les vues de ces montagnes, riches en schiste micacé et en granite, *ibid.*, p. 66 et 70. J'ai adopté les dénominations anglaises des géographes de l'Amérique septentrionale, parce que les traductions ont souvent occasionné des confusions. Pour pouvoir comparer avec les *Rocky Mountains,* sous le rapport de la direction et de la longueur, la chaîne méridienne de l'Oural, qui, d'après les pénibles recherches de mon ami et compagnon, le colonel Ernst Hofmann, incline vers l'Est, à l'extrémité Nord-Est, et qui de la montagne d'Airuck-Tagh (48° 45′) jusqu'à celle de Sablja (65°) a une étendue de 225 milles géographiques, je rappellerai ici que cette dernière chaîne passe entre les parallèles du *Pike's Peak* et du *Lewis and Clarke's Pass*, de 107° 30′ à 114° 30′ de longitude. Comp. Ernst Hofmann, *der nördliche Ural and das Küstengebirge Pac-Choi*, 1856, p. 191 et 297-305, avec Humboldt, *Asie centrale*, t. I, p. 447.

(75) [page 462]. *Explorations for a Railroad from the Mississipi river to the Pacific Ocean, made in* 1853-1854, t. I, p. 107.

(76) [page 462]. *Cosmos*, t. IV, p. 319.

(77) [page 462]. *Report of the Exploring Expedition to the Rocky Mountains in 1842, and to Oregon and North California in 1843-1844*, p. 164, 184-187 and 193.

(78) [page 463]. D'après la carte routière de 1855, jointe au Rapport général du Secrétaire d'État Jefferson Davis, le *Raton Pass* a encore une hauteur de 6737 p. au-dessus de la mer. Comp. aussi Marcou, *Résumé explicatif d'une Carte géologique*, 1855, p. 113.

(79) [page 464]. Il faut distinguer, en allant de l'Est à l'Ouest, le dos de montagne de Zuñi, où le *Paso de Zuñi* s'élève encore à 7454 pieds; *Zuñi viejo*, c'est-à-dire l'ancien *Pueblo*, dont les ruines ont été dessinées par Mollhausen lors de l'expédition de Whipple, et le *Pueblo de Zuñi* actuellement habité. A dix milles géographiques au nord de ce dernier village, près du fort Défiance, se trouve encore un très-petit territoire volcanique isolé. Entre le village de Zuñi et la pente de la montagne qui descend vers le Rio Colorado Chiquito (little Colorado) se trouve à découvert la forêt pétrifiée que Mollhausen a très-bien copiée et décrite, dans un travail envoyé à la société géographique de Berlin. D'après Marcou (*Résumé explic. d'une Carte géolog.*, p. 59), on a trouvé des conifères recouverts d'une enveloppe siliceuse, mêlés aux fougères arborescentes fossiles.

(80) [page 464]. Toute cette description est faite d'après les profils de Marcou et la carte routière de 1855, citée plus haut.

(81) [page 465]. Les dénominations françaises, introduites par les chasseurs canadiens, sont généralement employées dans le pays et sur les cartes anglaises. Les positions topographiques des volcans éteints sont, d'après les dernières déterminations, ainsi qu'il suit : *Fremont's Peak*, lat., 43° 5', long., 112° 30'; *Trois Tetons*, lat., 43° 38', long., 113° 10'; *Three*

Buttes, lat., 43°20′, long., 115°2′; *Fort Hall.*, lat., 43° 0′, long. 114° 45′.

(82) [page 465]. Voy. le travail du lieutenant Mullan sur la formation volcanique, dans *Reports of Explor. and Surveys*, t. I, 1855, p. 330 et 318; on peut consulter aussi les Rapports de Lambert et de Tinkham sur les *Three Buttes, ibid.*, p. 167 et 226-230, et Jules Marcou, *Résumé explic.*, etc., p. 115.

(83) [page 466]. Dana, *Geology*, etc.: *Blue Mountains*, p. 616-621; *Sacramento Butt*, p. 649-651, *Shasty Mountains*, p. 630-643, *Cascade Range*, p. 614. Sur le *Monte Diablo Range*, qui s'est fait jour à travers une roche volcanique, voy. aussi John Trask, *on the Geology of the Coast Mountains and the Sierra Nevada*, 1854, p. 13-18.

(84) [page 466]. Voy. Venegas, *Noticia de la California*, 1757, t. I, p. 27, et Duflot de Mofras, *Exploration de l'Orégon et de la Californie*, 1844, t. I, p. 218 et 239.

(85) [page 467]. *Cosmos*, t. IV, p. 682 (note 79).

(86) [page 467]. Dana (*Geology*, p. 615 et 640) évaluait la hauteur du volcan de Sainte-Hélène à 15000 pieds, et celle de *Mount Hood*, au-dessous de ce nombre; mais d'après d'autres, le *Mount Hood* n'aurait pas moins de 18316 pieds anglais = 17176 pieds de Paris; par conséquent, 2370 pieds de Paris de plus que le sommet du Mont-Blanc, et 4438 pieds de plus que *Fremont's Peak*, dans les *Rocky Mountains*. Le Mont Hood ne serait, d'après cela, que de 536 pieds plus bas que le Cotopaxi (Landgrebe, *Naturgeschichte der Vulcane*, t. I, p. 497); mais d'après Dana, le Mont Hood ne dépasserait le sommet le plus élevé des *Rocky Mountains* que de 2300 pieds au plus. Je crois toujours bon de signaler ces *Variantes lectiones*.

(87) [page 467]. Dana, *Geology*, etc., p. 640 et 643-645.

(88) [page 467]. Variantes antérieures: 9 550 pieds d'après Wilkes; 12 700 pieds d'après Simpson.

(89) [page 469]. *Cosmos*, t. IV, p. 301 et 668 (note 71).

(90) [page 469]. Karsten, *Archiv für Mineralogie*, t. I, 1829, p. 243.

(91) [page 469]. Humboldt, *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne*, t. I, p. 266; t. II, p. 310.

(92) [page 469]. D'après un manuscrit qu'il m'a été permis de compulser dans les archives de Mexico, en 1803, toute la côte de Nutka, jusqu'à l'endroit appelé plus tard *Cook's Inlet*, fut visitée lors de l'expédition de Juan Perez et Estevan José Martinez, en 1774 (*Essai politique*, etc., p. 296-298).

(93) [page 470]. Voy. M'Clure, *Discovery of the N. W. Passage*, p. 99; *Papers relative to the Arctic Expedition*, 1854, p. 34 ; Miertsching's *Reise-Tagebuch*, Gnadau, 1855, p. 46.

(94) [page 474]. Dans les Antilles, l'activité volcanique se borne aux Petites Antilles; trois ou quatre volcans encore actifs ont été soulevés sur une faille dirigée du Sud au Nord et un peu arrondie en arc, à peu près parallèle aux failles volcaniques de l'Amérique centrale. Déjà, en exposant les réflexions que suscite la simultanéité des tremblements de terre dans les vallées de l'Ohio, du Mississipi et de l'Arkansas, avec ceux du bassin de l'Orénoque et de la côte de Venezuela, j'ai décrit, à un point de vue géognostique, la petite mer des Antilles, comme formant jadis un seul bassin avec le golfe du Mexique et la grande plaine de la Louisiane entre les Alleghanis et les Rocky Mountains (*Relation historique*, etc., t. II, p. 5 et 19). Ce bassin est coupé au milieu, entre 18° et 22° de latitude, par une rangée de montagnes plutoniques, qui s'étendent du cap Catoche, dans la presqu'île Yucatan, jusqu'à Tortola et Virgen Gorda. Cuba, Haïti et Portorico

forment une rangée qui court de l'Ouest à l'Est, parallèlement à la chaîne de granite et de gneiss de Caracas; les Petites-Antilles, pour la plupart volcaniques, servent à réunir la chaîne plutonique des grandes Antilles avec celle du littoral de Venezuela, et ferment à l'Est la partie méridionale du bassin. Les volcans encore actifs sont situés depuis 13° jusqu'à 16° 1/2. Ils se succèdent du Sud au Nord, ainsi qu'il suit :

Le volcan de l'île Saint-Vincent, auquel on attribue une hauteur tantôt de 3000 pieds, tantôt de 4740. Il était tranquille depuis 1718, lorsqu'il a eu une immense éruption de lave, le 27 avril 1812. Les premiers ébranlements commencèrent près du cratère dès le mois de mai 1811, trois mois après que l'île Sabrina eut été soulevée du fond de la mer, au milieu des Açores. Les premières secousses se firent sentir faiblement au mois de décembre de la même année, dans la vallée montagneuse de Caracas, à 3280 pieds au-dessus de la mer. La destruction complète de cette grande ville eut lieu le 26 mars 1812. De même que l'on attribue avec raison le tremblement de terre qui a détruit Cumana, le 14 décembre 1796, à l'éruption du volcan de la Guadeloupe (fin de septembre 1796), la destruction de Caracas paraît avoir été produite par la réaction d'un volcan situé aussi dans les Antilles, mais plus au sud du volcan de l'île Saint-Vincent. Le 30 avril 1812, on entendit dans les vastes prairies (Llanos) de Calabozo et sur les rives du Rio Apure, 48 milles géographiques avant sa jonction avec l'Orénoque, un bruit souterrain terrible et semblable à des décharges d'artillerie (Humboldt, *Relation historique*, etc., t. II, p. 14). Le volcan de Saint-Vincent n'avait point vomi de lave depuis 1718; le 30 avril, un torrent de lave sortait du cratère situé au sommet de la montagne, et arriva en quatre heures au bord de la mer. Une chose très-étrange m'a été affirmée par des hommes fort intelligents, qui faisaient le cabotage, c'est que le bruit a été beaucoup plus fort en pleine mer qu'auprès de l'île.

Le volcan de l'île San Lucia, habituellement désigné comme

une simple *solfatare*, n'a que 1 200 à 1 800 pieds de hauteur. Dans le cratère se trouvent beaucoup de petits bassins, remplis périodiquement d'eau bouillante. Une éruption de scories et de cendres fut observée, dit-on, en 1766, ce qui serait un phénomène rare dans une solfatare. Si, en effet, on ne peut mettre en question, d'après les recherches approfondies de James Forbes et de Poulett Scrope, l'éruption de la solfatare de Pozzuoli en 1198, on peut être tenté de considérer cet événement comme un effet latéral, dû au voisinage du volcan principal, le Vésuve (voy. Forbes, dans *Edimb. Journal of Science*, t. I, p. 128, et Poulett Scrope, dans les *Transact. of the Geolog. Society*, 2e série, t. II, p. 346). Lancerote, Haaii tew, les îles de Sonde nous présentent des exemples analogues d'éruptions très-éloignées des cratères du sommet, qui sont le véritable siége de l'activité. Il est vrai que, lors des grandes éruptions du Vésuve, dans les années 1794, 1822, 1850 et 1855, la solfatare de Pozzuoli n'a pas donné signe de vie (Jules Schmidt, *über die Eruption des Vesuvs im Mai* 1855, p. 156). Longtemps avant l'éruption du Vésuve, Strabon (l. V, p. 245) parle vaguement de feu, près de Cyme et de Phlegra, dans la campagne de Dicæarchie, appelée Puteoli, dès le temps d'Annibal, par les Romains qui la colonisèrent. Mais il ajoute : « Quelques-uns croient que toute la contrée jusqu'à Baja et Cyme fut appelée ainsi, parce qu'elle est remplie de soufre, de feu et d'eaux chaudes; quelques-uns même pensent que Cymæa (Cumanus ager) fut appelée Phlegra pour la même raison ». Au même endroit, Strabon mentionne encore des coulées de feu et d'eau, « προχοὰς τοῦ πυρὸς καὶ τοῦ ὕδατος. »

L'activité volcanique, dont auraient fait preuve à la Martinique, dans les temps modernes, la montagne Pelée, haute, d'après Dupuget, de 4416 pieds, le Vauclin et les Pitons du Carbet, est encore plus douteuse. La grande éruption de vapeurs du 22 janvier 1792, décrite par Chisholm, et la pluie de cendres du 5 août 1851 méritent d'être examinées de plus près.

La Soufrière de la Guadeloupe, à laquelle Amic et Le Boucher attribuaient une hauteur de 5100 et de 4794 pieds, mais qui n'a, d'après les mesures récentes et très-exactes de Charles Sainte-Claire Deville, que 4567 pieds, s'est révélée le 28 septembre 1797 (78 jours avant le grand tremblement de terre qui a détruit Cumana), comme un volcan rejetant de la pierre ponce (*Rapport fait au général Victor Hugues par Amic et Hapel sur le Volcan de la Basse-Terre*, dans la nuit du 7 au 8 vendémiaire an VI, p. 46; voy. aussi Humboldt, *Relation historique*, etc., t. I, p. 316). La partie inférieure de la montagne est une roche dioritiqne; le cône volcanique ouvert au sommet est composé de trachyte contenant du labrador. Cette montagne, qu'on appelle *soufrière*, à cause de son état habituel, ne paraît jamais avoir laissé échapper de coulées de lave, ni du cratère placé au sommet, ni d'ouvertures latérales; mais les cendres provenant des éruptions de septembre 1797, décembre 1836 et février 1837, qui ont été examinées avec le soin qu'apportait à toutes ses expériences l'excellent et regrettable Dufrénoy, ont été reconnues pour des fragments de lave pulvérisés, dans lesquels on a constaté la présence de pyroxène et de minéraux feldspathiques (labrador, rhyacolithe et sanidine). Voy. Lherminier, Daver, Élie de Beaumont et Dufrénoy, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. IV, 1837, p. 294, 651 et 743-749. M. Deville a reconnu aussi, dans le trachyte de la soufrière, de petits fragments de quartz, avec des cristaux de labrador (*Comptes rendus*, t. XXXII, p. 675), de même que Gustave Rose a trouvé des dodécaèdres hexagones de quartz dans les trachytes des volcans d'Arequipa (Meyen, *Reise um die Erde*, t. II, p. 23).

Le phénomène que nous venons de décrire, à savoir l'éjection temporaire de formations très-diverses à travers les crevasses d'une soufrière, rappelle d'une manière sensible que les noms de solfatare, de soufrière ou de fumarolle ne désignent, à proprement parler, que certains *états* de l'activité

volcanique. Des volcans qui jadis ont lancé des laves ou, à défaut de laves, des scories désagrégées, d'un volume considérable, ou ces mêmes scories réduites en poudre, arrivent, quand leur activité diminue, à une période, où ils ne donnent plus que du soufre sublimé, de l'acide sulfurique et de la vapeur d'eau. Si, dans cet état, on les appelle des demi-volcans, on accrédite facilement l'opinion qu'ils forment une classe de volcans à part. Bunsen, qui, avec Boussingault, Senarmont, Charles Deville et Daubrée, a fait faire à la science de si magnifiques progrès, par l'application ingénieuse de la chimie à la géologie et principalement aux phénomènes volcaniques, montre comment, lorsque, dans les volatilisations de soufre qui accompagnent presque toutes les éruptions volcaniques, les masses de soufre se rencontrent sous forme de vapeur avec les roches pyroxéniques enflammées, l'acide sulfureux naît de la décomposition partielle de l'oxyde de fer contenu dans ces roches. Si plus tard l'activité volcanique tombe à des températures peu élevées, l'activité chimique de cette zone entre dans une nouvelle phase. Les combinaisons du soufre avec le fer et peut-être avec les bases métalliques des terres et des alcalis commencent à réagir sur la vapeur d'eau, et le résultat de ces actions réciproques est la formation d'hydrogène sulfuré et des produits qu'il engendre en se décomposaut, c'est-à-dire de l'hydrogène libre et de la vapeur de soufre. Les fumarolles sulfureuses survivent pendant des siècles aux grandes éruptions volcaniques. Les fumarolles d'acide muriatique ou hydrochlorique appartiennent à une période plus récente. Elles ne peuvent que rarement prendre le caractère de phénomènes permanents. La formation de l'acide hydrochlorique dans les gaz des cratères résulte de ce que le sel commun, qui se montre si souvent comme un produit de volatilisation sur les volcans, principalement sur le Vésuve, est, à des températures plus élevées et sous l'action de la vapeur d'eau, décomposé par des silicates en acide hydrochlorique et en soude, et que cette der-

nière substance se combine avec les silicates qu'elle trouve formés. Les fumarolles d'acide hydrochlorique, qui souvent se manifestent dans les volcans de l'Italie, sur les proportions les plus grandioses, et qui, dans ce cas, sont accompagnées ordinairement de grandes sublimations de sel commun, sont de peu d'importance en Islande. Comme derniers anneaux de cette chaîne de phénomènes, il reste encore les émanations d'acide carbonique. On a jusqu'ici presque complétement négligé, dans les gaz volcaniques, l'hydrogène qu'ils peuvent contenir. Il s'en trouve dans la source de vapeur des grandes solfatares situées à Krisuvik et à Reykjalidh en Islande; et dans ces deux endroits, l'hydrogène est mélangé avec l'hydrogène sulfuré. Comme l'hydrogène sulfuré et l'acide sulfureux en contact se décomposent mutuellement, en dégageant du soufre, ils ne peuvent jamais se montrer en même temps; mais ils se trouvent assez souvent très-rapprochés l'un de l'autre sur le même champ de fumarolles. S'il était impossible de méconnaître le gaz hydrogène sulfureux dans les solfatares d'Islande que nous avons citées plus haut, il manquait, au contraire, complétement dans cet état des solfatares où se trouvait le cratère de l'Hécla, peu de temps après l'éruption de 1845, c'est-à-dire dans la première phase des effets subséquents de l'activité volcanique. On ne pouvait constater la moindre trace d'hydrogène sulfuré ni par l'odorat ni à l'aide de réactifs, tandis que, à une grande distance, une sublimation de soufre abondante faisait reconnaître d'une manière certaine à l'odorat la présence de l'acide sulfureux. Il est vrai que, à l'approche d'un cigarre allumé, se montraient au-dessus des fumarolles ces épais nuages de fumée, qui, d'après les expériences de Melloni et de Piria, révèlent les plus faibles traces d'hydrogène sulfuré (*Comptes rendus*, t. XI, 1840, p. 352, et Poggendorff's *Annalen*, supplém., 1842, p. 511). Mais comme on peut facilement se convaincre que le soufre seul, s'il est sublimé avec des vapeurs d'eau, produit le même phénomène, on peut toujours douter qu'une

trace, si légère qu'elle soit, d'hydrogène sulfuré, accompagnât les émanations des cratères de l'Hécla (1845) et du Vésuve (1843). Comparez l'excellent travail, si important au point de vue géologique, de Robert Bunsen, sur la formation des roches volcaniques de l'Islande, dans Poggendorff's *Annalen*, t. LXXXIII, 1851, p. 241, 244, 246, 248, 250, 254 et 256 : ce Mémoire est un complément et une rectification des travaux publiés en 1847 dans les *Annalen der Chimie und Pharmacie* de Wœhler et Liebig (t. LXII, p. 19.) Gay-Lussac remarquait déjà, lorsque, à l'époque de la grande éruption de lave de 1805, je visitai avec lui les champs Phlégréens, que les émanations des solfatares de Pozzuoli n'étaient pas de l'hydrogène sulfuré, et qu'elles ne déposaient pas de soufre, au contact de l'atmosphère, comme Breislak l'avait soutenu, dans son *Essai minéralogique sur la soufrière de Pozzuoli* (1792, p. 128-130). Le pénétrant Arcangelo Scacchi nie également d'une manière positive la présence de l'hydrogène sulfuré, parce que le mode d'analyse proposé par Piria ne lui paraissait prouver que la présence de la vapeur d'eau : « Son di avviso che lo solfo emane mescolato a i vapori acquei senza essere in chimica combinazione con altere sostanze » (*Memorie geologiche sulla Campania*, 1849, p. 49-121). L'analyse sérieuse des gaz émanés de la solfatare de Pozzuoli, que j'attendais depuis si longtemps, a été faite enfin tout récemment par Charles Sainte-Claire Deville et Leblanc; elle a parfaitement prouvé l'absence de l'hydrogène sulfuré (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. XLIII, 1856, p. 746). Sartorius de Waltershausen (*Physisch-Geographische Skizze von Island*, 1847, p. 120) remarquait au contraire, en 1811, sur les cônes d'éruption de l'Etna, une forte odeur d'hydrogène sulfuré, là où l'on n'avait trouvé, les années précédentes, que des traces d'acide sulfureux. Ch. Deville a reconnu une petite partie d'hydrogène sulfuré, non pas à Girgenti et dans les *Macalube*, mais sur le versant oriental de l'Etna, dans la source de Santa-Venerina. Il est étrange,

que l'importante série d'analyses que Boussingault a faites sur les volcans de la chaîne des Andes à émanations gazeuses, depuis le Puracé et le Tolima jusqu'aux plateaux de los Pastos et de Quito, n'aient révélé la présence ni de l'acide hydrochlorique ni de l'hydrogène sulfuré.

(95) [page 475]. Les travaux antérieurs donnent pour les volcans encore allumés les nombres suivants : d'après Werner, 193 ; d'après César de Leonhard, 187; d'après Arago, 175 (*Astronomie populaire,* t. III, p. 170). On voit que tous ces résultats sont inférieurs au mien. Les différences en moins, qui oscillent entre 1/8 et 1/4,5, proviennent à la fois des divers principes d'après lesquels on classe les volcans en volcans éteints et en volcans actifs, et de l'insuffisance des matériaux. Nous avons déjà remarqué plus haut, et l'expérience historique nous a appris, que des volcans qui passaient pour éteints se sont réveillés après de très-longs intervalles, de sorte que le chiffre que je donne est plus tôt trop faible que trop élevé. Ni Léop. de Buch, dans l'appendice de sa belle Description des îles Canaries, ni Landgrebe, dans sa Géographie des Volcans, ne se sont hasardés à donner un résultat général.

(96) [page 476]. Cette description est tout à fait en opposition avec celle qui a été souvent reproduite d'après Strabon, et qui est insérée dans les *Annalen* de Poggendorff (t. XXXVII, p. 190, pl. I). Un auteur plus récent, Dion Cassius, qui vivait sous Septime Sévère, est le premier, non pas qui signale, comme on l'a prétendu souvent, l'existence de plusieurs sommets, mais qui tâche de démontrer que la forme du sommet avait changé avec le temps. Il rappelle, à ce sujet, ce qui confirme complétement le récit de Strabon, que le sommet formait autrefois une véritable plate-forme. Voici ses propres paroles (l. LXVI, c. 21, t. IV, 1824, p. 240, édit. de Sturz) : « Le Vésuve est situé au bord de la mer près de Naples, et a d'abondantes sources de feu. Toute la montagne était jadis

d'égale hauteur, et la flamme s'échappait du milieu; ce n'est que sur ce point que le volcan est enflammé. Nulle part il n'y a eu de feu jusqu'à ce jour à l'extérieur, et comme d'ailleurs le milieu est desséché par la chaleur et transformé en cendres, les sommets à l'entour ont conservé leur ancienne hauteur; mais toute la partie ignée, consumée à la longue, s'est creusée par un affaissement progressif, de sorte que, s'il est permis de comparer les grandes choses aux petites, toute la montagne ressemble à un amphithéâtre.» (Comp. Sturz, t. VI, *Annot.* II, p. 568). Ce passage décrit clairement les parties de la montagne qui, depuis l'année 79 sont devenues les bords du cratère. La conjecture qui rapporte ce passage à l'*Atrio del Cavallo* ne me paraît pas juste. D'après le grand et excellent travail hypsométrique, publié en 1855 par un astronome très-actif et très-distingué, Jules Schmidt, la *Punta Nasone* de la *Somma* a 590 toises; l'*Atrio del Cavallo*, au pied de la Punta Nasone, 417 t.; la *Punta* ou *Rocca del Palo*, la partie la plus élevée de l'enceinte qui borde au Nord le cratère du Vésuve, 624 t. Nos opérations barométriques de 1822 avaient donné pour ces trois points 586 t., 403 t. et 629 t.; différences: 4 t., 14 t. et 6 t. D'après Jules Schmidt (*Eruption des Vesuvs im Mai* 1855, p. 95), le niveau du sol de l'*Atrio del Cavallo* a subi de grands changements depuis l'éruption du mois de février 1850.

(97) [page 476]. Velleius Paterculus, qui mourut sous Tibère, signale en effet le Vésuve comme la montagne que Spartacus occupa avec ses gladiateurs (l. II, c. 30); mais Plutarque, dans la Vie de Crassus (c. 11), parle simplement d'une contrée montagneuse où l'on ne pouvait entrer que par un passage étroit. La révolte de Spartacus eut lieu l'an 681 de la fondation de Rome, par conséquent 152 ans avant l'éruption du Vésuve qui coûta la vie à Pline (24 août 79 ap. J.-C.). On lit, il est vrai, dans Florus (l. I, c. 16) : « Vesuvius mons Ætnæi ignis imitator,» et (l. III, c. 20) : « Fauces cavi mon-

tis. » Mais Florus vivait sous Trajan ; il avait par conséquent connaissance de cette éruption, et savait ce que recélait l'intérieur du volcan. Si donc il lui donne l'épithète de *cavus*, cela ne peut rien préjuger sur sa configuration antérieure, ainsi qu'on l'a déjà remarqué.

(98) [page 476]. Diodore de Sicile, l. IV, c. 21, 5.

(99) [page 476]. Polybe, l. II, c. 17.

(100) [page 476]. Strabon, l. V, p. 246.

(1) [page 477]. Vitruve, l. II, c. 6.

(2) [page 477]. Vitruve, dans tous les cas, écrivait avant Pline l'ancien. Cela résulte non-seulement de ce qu'il est cité trois fois dans la liste des sources auxquelles a puisé Pline (l. XVI, XXXV et XXXVI), liste dont le traducteur anglais Newton a contesté à tort l'authenticité, mais aussi de ce que, dans un passage du livre XXXV (c. 14, § 170-172), Pline a extrait lui-même un passage de Vitruve, ainsi que l'ont démontré Sillig (t. V, 1851, p. 272 et 277) et Brunn, dans la dissertation *de Auctorum indicibus Plinianis* (Bonnæ, 1856, p. 55-60). Hirt, dans son Mémoire sur le Panthéon, place la composition du Traité de Vitruve sur l'Architecture entre les années 14 et 16 de notre ère. — Au sujet de la conjecture de de Leop. de Buch exposée plus bas, voy. les *Annalen* de Poggendorff, t. XXXVII, p. 175-180.

(3) [page 478]. On lit dans Carmine Lippi (1816, p. 10) : « Fu il fuoco o l'acqua che sotterrò Pompei ed Ercolano ? Voy. aussi Scacchi. *Osservazoni critiche sulla maniera come fu seppellita l'Antica Pompei*, 1843, p. 8-10.

(4) [page 480]. Sir James Ross, *Voyage to the antarctic Regions*, t. I, p. 217, 220 et 364.

(5) [page 481]. Gay-Lussac, *Réflexions sur les Volcans*, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, 1823, p. 427 ;

Cosmos, t. IV, p. 190; Arago, *Œuvres complètes*, t. III, p. 47.

(6) [page 482]. D'après les réductions à Timana, le volcan de la Fragua est situé environ par 1°48′ de lat. bor., 77°50′ de longit. Voy., dans le grand Atlas de mon Voyage, la *Carte hypsométrique des nœuds des montagnes dans les Cordillères*, 1831, pl. V. Voy. aussi pl. XXII et XXIV. Cette montagne, reculée vers l'Est dans une position isolée, mériterait d'être visitée par un géognoste capable de faire aussi des déterminations de lieu astronomiques.

(7) [page 482]. *Cosmos*, t. IV, p. 319 et 340-350.

(8) [page 482]. *Cosmos*, t. IV, p. 263-271.

(9) [page 483]. Pour les trois groupes qui, d'après l'ancienne nomenclature géographique, appartiennent à l'Auvergne, au Vivarais et au Velay, j'ai calculé les distances, en mesurant l'intervalle compris entre l'extrémité septentrionale des chaînes et la partie de la Méditerranée qui s'étend du golfe d'Aigues-Mortes à Cette. Dans le premier groupe, celui du Puy-de-Dôme, on cite, comme le point le plus septentrional, un cratère taillé dans le granite, près de Manzat et nommé le *Gour de Tazena* (Rozet, dans les *Mémoires de la Société géologique de France*). Dans une position plus méridionale encore que celle du groupe du Cantal, à 18 milles géographiques tout au plus des côtes de la mer, est situé le petit cercle volcanique de la Guiolle, près des monts d'Aubrac, au nord-ouest de Chirac. Voy. la *Carte géologique de France*, 1841.

(10) [page 483]. Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 7-61, 216 et 335-364; *Cosmos*, t. I, p. 279. Je me suis assuré que la célèbre carte catalane de 1374, conservée comme un bijou parmi les manuscrits de la Bibliothèque de Paris, contient déjà l'indication du lac alpin Issikoul, situé sur la pente septentrionale du Thian-schan, et auquel des voyageurs russes sont parvenus, il y a peu de temps, pour la première fois.

Strahlenberg, dans l'ouvrage intitulé *der nördliche und östliche Theil von Europa und Asien* (Stockholm, 1730, p. 327), a le mérite d'avoir représenté le premier le Thian-schan comme une chaîne indépendante, mais sans avoir rien soupçonné de son activité volcanique. Il lui donne le nom très-vague de *Mousart*, ce qui, joint à ce que le Bolor portait le nom également très-peu caractéristique de *Mustag*, dont *Mousart* n'est lui-même que la corruption, a produit pendant un siècle une confusion funeste dans les descriptions et la nomenclature des chaînes méridiennes et des chaînes parallèles, situées au nord de l'Himalaya. *Mustag* est un mot tatare qui signifie chaîne neigeuse (Schneekette, Snow-Chain, Sierra Nevada). Le mot *Himalaya*, dans le livre des Lois de Manou, signifie lui-même le *séjour de la neige*, de *alaya* séjour et *hyma* neige; c'est le Sive-schan des Chinois. 1100 ans déjà avant Strahlenberg, sous la dynastie des Soui, contemporaine du roi Dagobert, les Chinois possédaient des cartes dressées par l'ordre du gouvernement, qui représentaient tout le pays compris entre le fleuve Jaune et la mer Caspienne, avec l'indication du Kouen-lun et du Thian-schan. Ce furent certainement ces deux chaînes de montagnes, particulièrement la première, qui, lorsque l'expédition des Macédoniens eut mis les Grecs en relation plus intime avec l'intérieur de l'Asie, répandirent parmi les géographes la connaissance d'une ceinture de montagne, partageant tout le continent en deux parties, et s'étendant depuis l'Asie Mineure jusqu'à l'océan Indien, depuis l'Inde et la Scythie jusqu'à Thinæ (voy. Strabon, l. I, p. 68; l. XI, p. 490, et mon *Asie centrale*, t. I, p. 118-129, 194-203, et t. II, p. 413-425). Dicæarque et après lui Eratosthène désignaient cette chaîne comme le *prolongement du Taurus*, dénomination qui comprenait la chaîne de l'Himalaya. « L'Inde, dit expressément Strabon (l. XV, p. 689), est bornée au Nord, depuis Ariane jusqu'à la mer Orientale, par l'extrémité du Taurus, dont les indigènes désignent les diverses parties sous les noms de Paropamisus, Emodus, Imaus et d'autres encore. Les Macé-

doniens appellent cette chaîne le Caucase. » Auparavant, dans la description de la Bactriane et de la Sogdiane, Strabon avait écrit : « La dernière partie du Taurus appelée Imaus touche à la mer Orientale (probablement l'océan Indien). » La distinction des montagnes situées au delà et en deçà du Taurus témoigne elle-même de la croyance à une chaîne parallèle unique, dirigée de l'Est à l'Ouest. Plus tard, à l'époque de Ptolémée, lorsque le commerce, surtout le commerce de la soie fit de rapides progrès, on transporta la dénomination d'Imaus à la chaîne méridienne du Bolor, ainsi que le prouvent plusieurs passages du VIe livre de sa Géographie (*Asie centrale*, t. I, p. 146-162). La ligne parallèle à l'équateur par laquelle la chaîne du Taurus partage tout le continent asiatique, d'après les vues des géographes grecs, fut nommée d'abord par un élève d'Aristote, Dicæarque, *diaphragme*, ou mur de séparation, parce que l'on pouvait déterminer la latitude d'autres points en menant des perpendiculaires à cette ligne. Ce *diaphragme* n'était autre que le parallèle de Rhodes, prolongé à l'Ouest jusqu'aux colonnes d'Hercule, à l'Est jusqu'aux côtes de Thinæ (voy. Agathémère, dans la collection des *Geographi græci Minores* d'Hudson, t. II, p. 4). La démarcation de Dicæarque, également intéressante au point de vue géognostique et au point de vue orographique, passa dans l'ouvrage d'Eratosthène, qui en fait mention au IIIe livre de sa description de la Terre, pour éclaircir le tableau du monde habité. On peut juger de l'importance que Strabon attachait à cette division, par ce fait qu'il admet, sur le prolongement de la ligne qui traverse l'océan Atlantique près de Thinæ, l'existence d'un autre monde habité, peut-être même de plusieurs mondes (l. I, p. 65). On ne peut dire, cependant, que les paroles de Strabon soient une prophétie. Au lieu de l'océan Atlantique, on s'attendrait à voir la mer Orientale, nom sous lequel les géographes désignaient d'ordinaire la mer du Sud ou l'océan Pacifique; mais comme Strabon appelle l'océan indien au Sud du Bengale la mer Atlantique du Sud, on a

pu supposer que les deux mers n'en faisaient qu'une, au sud-est de l'Inde, et elles ont été souvent confondues. Ainsi on lit au livre II, p. 130 : « L'Inde, le plus vaste et le plus favorisé des pays, s'étend jusqu'aux rivages de la mer Orientale et de la mer Atlantique du Sud » ; et l. XV, p. 689 : « La côte méridionale et la côte orientale de l'Inde qui sont beaucoup plus étendues que les limites occidentale et septentrionale, s'avancent dans l'océan Atlantique. » Strabon a évité, dans ce passage, comme dans celui que j'ai cité plus haut relativement à Thinæ (l. I, p. 65), l'expression de mer Orientale. Occupé sans interruption, depuis 1792, de la direction et de l'inclinaison des couches montagneuses, et de leur rapport avec l'orientation des chaînes, j'ai cru devoir signaler cette circonstance, que, en moyenne, le parallèle que suit dans toute son étendue le Kouen-lun, y compris son prolongement occidental, Hindou-Kho, aboutit à la mer Méditerranée et au détroit de Gibraltar (voy. *Asie centrale,* t. I, p. 118-127, et t. II, p. 115-118), et qu'il peut exister une relation entre ce soulèvement et ce crevassement de l'écorce terrestre d'une part, et de l'autre la dépression du sol de la mer, dans un vaste bassin dont l'activité volcanique s'exerce surtout sur la côte septentrionale. Je dois dire cependant que mon cher et vieil ami Élie de Beaumont, si profondément versé dans toutes ces relations géognostiques, s'est prononcé contre les vues que je viens d'exposer, par des raisons tirées du loxodromisme (Voy. *Notice sur les Systèmes de montagnes,* 1852, t. II, p. 667).

(11) [page 484]. *Cosmos,* t. IV, p. 394.

(12) [page 484]. Voy., sur la cause de la dépression d'une grande partie de l'Asie et sur ce fait que les pentes les plus rapides des chaînes de montagnes sont généralement tournées vers la mer la plus voisine, Arago, *Astronomie populaire,* t. III, p. 66, 242.

(13) [page 485]. Klaproth, *Asia polyglotta*, p. 232, et *Mémoires relatifs à l'Asie* (composés d'après l'*Encyclopédie chinoise*, publiée par l'ordre de l'empereur Kanghi en 1711), t. II, p. 342. Voy. aussi Humboldt, *Asie centrale*, t. II, p. 125 et 135-143.

(14) [page 486]. Pallas, *Zoographia Rosso-Asiatica*, 1811, p. 115.

(15) [page 487]. Ce n'est pas, comme on pourrait le croire, dans la chaîne de l'Himalaya la plus voisine de la mer, dont quelques parties, comprises entre les montagnes colossales de Kuntschindjinga et de Schamalari, approchent du golfe du Bengale jusqu'à la distance de 107 et même de 94 milles géographiques, que commence à se manifeste l'activité volcanique; c'est dans la troisième chaîne, connue sous le nom de Thian-shan et séparée du golfe du Bengale par une distance presque quadruple, dont le soulèvement s'est opéré dans des circonstances très-particulières, c'est-à-dire par suite d'affaissements du sol qui ont déterminé des crevasses et rompu des couches. Les ouvrages géographiques des Chinois, dont Stanislas Julien a bien voulu poursuivre l'étude à mon instigation, nous apprennent que le Kouen-lun, le Tsi-schischan des Mongols, qui forme la limite septentrionale du Tibet, renferme, dans la colline Schin-khieou, une caverne d'où s'échappent incessamment des flammes (*Asie centrale*, t. II, p. 427-467 et 483). Ce phénomène paraît être tout à fait analogue à celui de la Chimère de Lycie, qui jette des flammes depuis des milliers d'années (*Cosmos*, t. IV, p. 289 et 660, note 58). Ce n'est point un volcan, mais une source de feu qui répand au loin une odeur suave, et qui peut-être renferme de la naphthe. Le Kouen-lun, que le D[r] Thomas Thomson, le savant botaniste du Tibet occidental, déclare, dans sa *Flora indica* (1855, p. 253), comme je l'ai fait moi-même dans l'*Asie centrale* (t. I, p. 127, et t. II, p. 431), être un prolongement de l'Hindou-Kho, auquel se relie la chaîne de l'Hima-

laya qui court du Sud-Est au Nord-Ouest, se rapproche tellement de l'extrémité occidentale de cette chaîne que mon excellent ami Adolphe Schlagintweit regarde le Kouen-lun et l'Himalaya, à l'ouest de l'Indus, comme formant un seul massif de montagnes (*Report n° IX of the magnetic Survey in India*, by Adolf Schlagintweit, 1856, p. 61). Mais dans toute la région qui s'étend à l'Est jusqu'à 90° de longit. orient. près de la mer des Étoiles, le Kouen-lun court de l'Ouest à l'Est, à 7° 30′ de l'Himalaya, et forme une chaîne complétement indépendante, ainsi que nous l'apprennent des descriptions détaillées, composées au xviie siècle de notre ère, sous la dynastie des Soui (voy. Klaproth, *Tableaux historiques de l'Asie*, p. 204). Les frères Hermann et Robert Schlagintweit sont les premiers qui aient réussi dans l'aventureuse entreprise de passer de Ladak sur le territoire de Khotan, en traversant le Kouen-lun (juillet et septembre 1856). D'après leurs observations, faites toujours avec un soin si minutieux, la haute chaîne de montagnes, celle où s'opère le partage des eaux et sur laquelle se trouve le passage de Karakorum, haut de 17170 pieds, forme la limite septentrionale du Tibet, et suit la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, parallèlement à la partie de l'Himalaya située plus au Sud, à l'ouest du Dhawalagiri. Les fleuves de Yarkand et de Karakasch, dont se compose en partie le grand système des eaux du Tarim et du lac Lop, ont leur source sur le versant nord-est de la chaîne de Karakorum. C'est de là que partirent les voyageurs, pour arriver, par Kissilkorum et les sources chaudes (49° centigr.) situées dans le petit lac alpin du Kiouk-Kioul, à la chaîne parallèle de Kouen-lun (Report, n° VIII, Agra, 1857, p. 6).

(16) [page 487]. *Geograph. Bote*, 1855, p. 31.

(17) [page 488]. *Cosmos*, t. I, p. 194-196, 497, 498, t. IV, p. 38-55, 378, 546-552 (notes 45-67).

(18) [page 488]. Arago, *Astronomie populaire*, t. III,

p. 248) adopte à peu près la même épaisseur pour la croute terrestre, à savoir, 40000 mètres, environ 5 milles et demi. Élie de Beaumont augmente cette épaisseur d'un quart (*Systèmes de montagnes*, t. III, p. 1237). La plus ancienne évaluation est celle de Cordier, qui va jusqu'à 14 milles géographiques. La théorie de la stabilité de Hopkins exigerait une épaisseur de 172 à 235 milles. J'adhère complétement, par des raisons géologiques, aux doutes que Naumann a élevés, dans son excellent ouvrage (*Lehrbuch der Geognosie*, t. I, p. 62-64, 73-76 et 289), contre cette énorme distance entre l'intérieur liquide du globe et les cratères des volcans actifs.

(19) [page 489]. La présence de l'argent dans l'eau de mer, découverte par Malaguti et confirmée par Field, est un exemple des changements de composition appréciables qui s'opèrent dans la nature par de très-petites accumulations graduelles. Malgré l'immense étendue de l'Océan et la très-petite surface des navires qui le traversent, c'est par le dépôt qui se produit sur le cuivre de ces navires que l'on a pu reconnaître récemment la trace de l'argent dans l'eau de mer.

(20) [page 489]. Bunsen, *über die chemischen Prozesse der vulkanischen Gesteinsbildungen*, dans les *Annalen* de Poggendorff, t. LXXXIII, p. 242 et 246.

(21) [page 490]. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XLIII, 1856, p. 366 et 689. La première analyse exacte du gaz qui s'échappe avec bruit de la grande solfatare de Pozzuoli, et qui a été recueilli avec beaucoup de difficulté par M. Ch. Saint-Claire Deville a donné 24,5 d'acide sulfureux, 14,5 d'oxygène, et 61,4 d'azote.

(22) [page 490]. *Cosmos*, t. IV, p. 237-244.

(23) [page 490]. Boussingault, *Économie rurale*, 1851, t. II, p. 724-726 : « La permanence des orages, dans le sein

de l'atmosphère (sous les tropiques) est un fait capital, parce qu'il se rattache à une des questions les plus importantes de la physique du globe, celle de la fixation de l'azote de l'air dans les êtres organisés. Toutes les fois qu'une série d'étincelles électriques passe dans l'air humide, il y a production et combinaison d'acide nitrique et d'ammoniaque. Le nitrate d'ammoniaque accompagne constamment l'eau des pluies d'orage, et comme, fixe par sa nature, il ne saurait se maintenir à l'état de vapeur, on signale dans l'air du carbonate ammoniacal, et l'ammoniaque du nitrate est amenée sur la Terre par la pluie. Ainsi, en définitive, ce serait une action électrique, la foudre, qui disposerait le gaz azote de l'atmosphère à s'assimiler aux êtres organisés. Dans la zone équinoxiale, pendant l'année entière, tous les jours, probablement même à tous les instants, il se fait dans l'air une continuité de décharges électriques. Un observateur placé à l'équateur, s'il était doué d'organes assez sensibles, y entendrait continuellement le bruit du tonnerre. » Mais le sel ammoniac, aussi bien que le sel commun ou chlorure de sodium, se retrouve quelquefois dans les coulées de lave elles-mêmes, comme un produit des sublimations des volcans; c'est ce qui arrive sur l'Hécla, le Vésuve et l'Etna, dans la chaîne volcanique de Guatemala (volcan d'Izalco), et surtout en Asie, dans la chaîne du Thian-schan. Il y a des années où les habitants de la contrée comprise entre Koutsche, Turfan et Hami payent leur tribut à l'empereur de la Chine en sel ammoniaque (en chinois *nao-scha*, en persan *muschaden*), qui est un objet important du commerce extérieur (*Asie centrale*, t. II, p. 33, 38, 45 et 428).

(24) [page 491]. *Viajes de Boussingault*, 1849, p. 78.

(25) [page 491]. *Cosmos*, t. I, p. 325 et 550.

(26) [page 492]. Rozet, Mémoire sur les volcans d'Auvergne, dans les *Mémoires de la Société géologique de France*,

2e série, t. I, p. 64 et 120-130 : « Les basaltes (comme les trachytes) ont percé le gneiss, le granite, le terrain houiller, le terrain tertiaire, et les plus anciens dépôts diluviens. On voit même les basaltes recouvrir souvent des masses de cailloux roulés basaltiques ; ils sont sortis par une infinité d'ouvertures dont plusieurs sont encore parfaitement (?) reconnaissables. Beaucoup présentent des cônes de scories plus ou moins considérables, mais on n'y trouve jamais des cratères semblables à ceux qui ont donné des coulées de lave... »

(27) [page 492]. Comme les morceaux granitiques enveloppés dans le trachyte du Jorullo (*Cosmos*, t. IV, p. 348).

(28) [page 493]. Il en est de même dans l'Eifel, d'après l'important témoignage de M. de Dechen (voy. *Cosmos*, t. IV, p. 270).

(29) [page 493]. *Cosmos*, t. IV, p. 363. Le Rio de Guaillabamba se jette dans le Rio de las Esmeraldas. Le village de Guaillabamba, près duquel j'ai trouvé des basaltes isolés, contenant de l'olivine, est situé à 6480 pieds seulement audessus de la mer. Dans la vallée règne une chaleur insupportable ; elle est cependant plus grande encore dans le *Valle de Chota*, entre Torsa et la *Villa de Ibarra*, dont le sol s'abaisse jusqu'à n'être plus qu'à 4962 pieds de hauteur, et qui ressemble plutôt à une crevasse qu'à une vallée, eu égard à sa profondeur qui est de 4500 pieds sur 9 000 seulement de largeur (Humboldt, *Recueil d'Observations astronomiques*, t. I, p. 307). L'éruption de débris connu sous le nom de *Volcan de Ansango*, sur la pente de l'Antisana, n'appartient en aucune façon à la formation basaltique ; c'est plutôt un trachyte contenant de l'oligoclase et ressemblant à du basalte (voy., touchant l'antagonisme des basaltes et des trachytes, mon *Essai géognostique sur le gisement des Roches*, 1823, p. 327-336, 348 et 359.

(30) [page 496]. Sébastien Wisse, *Exploration du volcan*

de Sangay, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXXVI, 1853, p. 721; voy. aussi *Cosmos*, t. IV, p. 284 et 294-296. Wisse est parvenu jusqu'à un point situé à 900 pieds du sommet dont le diamètre n'a pas moins de 456 pieds Les fragments éruptifs de trachyte qu'il a recueillis sur la pente supérieure du cône sont formés, d'après Boussingault, d'une substance noire, semblable à du pechstein, dans laquelle sont empâtés des fragments de feldspath, peut-être de feldspath vitreux. Un phénomène remarquable, et qui paraît unique jusqu'à ce jour dans les éruptions volcaniques, c'est que de petits fragments de quartz pur, aux arêtes aiguës, ont été rejetés en même temps que les grands quartiers de trachytes noirs. Je vois, dans une lettre de mon ami Boussingault, datée de janvier 1851, que le volume de ces fragments n'excède pas 4 centimètres cubiques. Il n'y a pas de quartz semé dans la masse trachytique elle-même. Tous les trachytes volcaniques que j'ai examinés dans les Cordillères de l'Amérique méridionale ou du Mexique, et même les porphyres trachytiq es dans lesquels se rencontrent les riches filons d'argent de *Real del Monte*, de Moran et de Regla, au nord de la haute plaine de Mexico, sont complétement dépourvus de quartz. Malgré cet antagonisme apparent entre le quartz et le trachyte dans les volcans enflammés, je ne suis nullement disposé à nier l'origine volcanique des trachytes et des porphyres meulières que Beudant a signalées le premier; mais la manière dont ces roches ont fait éruption à travers des fissures n'a assurément aucun rapport avec la formation des échafaudages trachytiques en forme de cônes ou de dômes.

(31) [page 496]. *Cosmos*, t. IV, p. 263-269.

(32) [page 497]. L'astronome d'Olmutz, Jules Schmidt, a composé, avec des mesures de hauteur, des angles d'inclinaison et des coupes verticales, un travail sur le Vésuve, sur la Solfatare, le monte Nuovo, les *Astroni*, Rocca Monfina et les anciens volcans des États romains, dont la trace existe dans les

lago Bracciano et le *lago di Bolsena,* un travail qui est le plus complet que nous possédions en ce genre pour aucune contrée volcanique (voy. *die Eruption des Vesuvs im Mai* 1855, et dans l'Atlas, les tables III, IV et IX).

(33) [page 497]. A mesure que, depuis Tobias Mayer jusqu'à Lohrmann, Mädler et Jules Schmidt, on a mieux connu la configuration de la surface lunaire, la confiance dans les grandes analogies que l'on croyait exister entre les échafaudages volcaniques de la Terre et ceux de la Lune a été plutôt en diminuant qu'en augmentant. Ce résultat tient moins à des rapports de dimension et au groupement, constaté de bonne heure, d'un si grand nombre d'enceintes circulaires qu'à la nature des cannelures et à des systèmes de rayonnements qui ne répandent pas d'ombre, et qui ont plus de cent milles de longueur et d'un demi-mille à quatre milles de largeur, comme dans Tycho, Copernic, Kepler et Aristarque. Il est intéressant de noter que déjà Galilée, dans sa lettre au Père Cristophe Grienberger, *sulle montuosità della Luna,* croyait pouvoir comparer les montagnes circulaires de la Lune, dont il estimait le diamètre plus grand qu'il n'est réellement, avec l'enceinte montagneuse qui entoure de toute part la Bohême, et que l'ingénieux Robert Hooke attribue, dans sa *Micrographie*, le type circulaire qui domine presque partout dans la Lune, à l'action de l'intérieur contre l'extérieur (*Cosmos,* t. II, p. 767 et t. III, p. 535). En ce qui concerne les montagnes circulaires de la Lune, je me suis vivement intéressé, dans ces derniers temps, aux rapports de hauteur entre les montagnes centrales et les enceintes fortifiées ou les bords des cratères, ainsi qu'à l'existence de cratères parasites sur les fortifications elles-mêmes. A la suite d'un grand nombre d'observations exactes, Jules Schmidt, actuellement occupé à continuer et à compléter la topographie de la Lune commencée par Lohrmann, déclare que pas une seule montagne centrale n'atteint la hauteur des bords de son cra-

tère, et que vraisemblablement le sommet de ces montagnes est sensiblement inférieur à la partie de la surface lunaire d'où le cratère est sorti. Le cône de scories, qui s'est élevé dans le cratère de Vésuve, le 22 octobre 1822, et que l'on aperçoit de Naples, dépasse de 28 pieds, d'après les mesures trigonométriques de Brioschi, la *Punta del Palo,* point culminant du bord septentrional du cratère, et élevé de 618 toises au-dessus de la mer. Au contraire, sur la Lune, un grand nombre de montagnes centrales, mesurées par Mädler et Jules Schmidt, sont inférieures de 1 000 toises au bord moyen de l'enceinte, et de 100 toises à ce que l'on peut regarder approximativement comme le niveau moyen du sol dans cette partie de la Lune (voy. Mädler, dans le *Jahrbuch* de Schumacher pour 1841, p. 272 et 274, et Jules Schmidt, *der Mond*, 1856, p. 62). Ordinairement les montagnes de la Lune ou les massifs de montagnes ont plusieurs sommets, comme on le voit dans Théophile, Petavius et Bulliald. Copernic renferme 6 montagnes centrales; l'Alphons seul présente un pic central proprement dit, qui se termine par une pointe aiguë. Cette disposition rappelle les *Astroni* des champs Phlégréens, dont les masses centrales avaient avec raison, aux yeux de Léop. de Buch, une importance considérable. « Ces masses, dit-il, n'ont point fait éruption, non plus que les montagnes situées au milieu des cirques de la Lune. Il n'a jamais existé de liaison permanente entre l'extérieur et l'intérieur; il n'y a point par conséquent de volcans. Ce que l'on voit dans la Lune est bien plutôt le type des grands dômes trachytiques, fermés au sommet, qui sont répandus en si grand nombre à la surface de la Terre, tels que ceux du Puy-de-Dôme et du Chimborazo » (Poggendorff's *Annalen*, t. XXXVII, 1836, p. 183). La circonvallation des *Astroni* a partout la forme d'une ellipse fermée et ne s'élève jamais de plus de 130 toises au-dessus de la mer. Les sommets situés au centre sont de 103 toises inférieurs au minimum de l'enceinte qui borde les cratères du Sud-Ouest. Ces dômes forment deux rangées pa-

rallèles couvertes d'épais buissons (voyez Jules Schmidt, *Eruption des Vesuvs*, p. 147, et *der Mond*, p. 70 et 103). On doit compter parmi les plus remarquables objets que présente la surface de la Lune, la montagne circulaire appelée Petavius, dans laquelle tout le sol intérieur du cratère est arrondi en forme de dôme ou de vessie, ce qui n'empêche pas qu'il soit couronné par une montagne centrale. La convexité est ici la forme permanente. Dans nos volcans terrestres, la surface des cratères peut de temps à autre s'élever par l'élasticité des vapeurs souterraines presque jusqu'à la hauteur des bords du cratère; mais aussitôt que les vapeurs se sont frayé un passage, la surface se dégonfle et s'abaisse. Sur notre globe, les cratères qui ont les plus grands diamètres sont la *Caldeira de Fogo*, à laquelle Charles Deville assigne un diamètre de 4100 toises (1,08 mille géographique), et la *Caldeira* de Palma, qui en a 3100 d'après Léop. de Buch, tandis que sur la Lune, Tycho et Théophile ont un diamètre, le premier de 43000 toises, le second de 50000, c'est-à-dire 11,3 et 13 milles géographiques. Les cratères secondaires ou parasites qui s'ouvrent sur l'enceinte du grand cratère sont très-fréquents dans la Lune. Le sol de ces cratères est ordinairement vide, comme sur la grande enceinte démantelée du Maurolycus. Plus rarement on y aperçoit une petite montagne centrale, peut-être un cône d'éruption, comme dans Longomontanus. Sur la belle esquisse représentant le système des cratères de l'Etna, que mon ami l'astronome Christian Peters, actuellement dans l'Amérique du Nord, à Albany, m'a envoyée de Flensburg, au mois d'août 1854, on reconnaît clairement le cratère marginal parasite, nommé *Pozzo di Fuoco*, qui s'est formé en janvier 1833, sur le bord Est-Sud-Est, et a donné jusqu'en 1843 plusieurs éruptions de lave considérables.

(34) [page 498]. C'est en 1822, dans la seconde édition de son *Traité de Minéralogie* (t. IV, p. 579), qu'Haüy a appliqué pour la première fois à une roche d'Auvergne le nom trop peu caracté-

ristique de trachyte (pierre rude au toucher), si généralement employé aujourd'hui pour désigner la roche au milieu de laquelle se font jour les volcans. Haüy se borne à donner l'étymologie de ce nom et à décrire la roche brièvement, sans mentionner les dénominations plus anciennes de *granite chauffé en place*, ainsi que l'appelait Desmarets, de trapp-porphyre et de domite. Avant 1822, cependant, le nom de trachyte était déjà connu par des communications verbales qui avaient eu lieu à l'occasion des cours d'Haüy au Jardin des Plantes, et on le trouve dans un Mémoire de Léopold de Buch sur les îles basaltiques et les cratères d'élévation (1818), dans le Traité de Minéralogie de Daubuisson (1819) et dans un ouvrage considérable, le *Voyage en Hongrie* de Beudant. Il résulte de lettres que j'ai reçues récemment de M. Élie de Beaumont que, d'après les souvenirs de M. Delafosse, aujourd'hui membre de l'Institut, autrefois aide-naturaliste d'Haüy, la dénomination de trachyte remonte à l'intervalle compris entre l'année 1813 et 1816. La publicité donnée par Léop. de Buch au nom de domite paraît, suivant le témoignage d'Ewald, dater de l'année 1809. Ce nom est mentionné pour la première fois dans la 3e lettre à Carsten (*Geognostiche Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien*, t. II, 1809, p. 244). On lit dans cette lettre : « Le porphyre du Puy-de-Dôme est une roche particulière encore innommée, formée de cristaux de feldspath ayant l'éclat du verre, de hornblende et de petites feuilles de mica noir. Dans les crevasses de cette roche, que je nomme provisoirement domite, se trouvent de belles druses dont les parois sont couvertes de cristaux de mica ferrugineux. Dans toute la longueur du Puy, les cônes de domite alternent avec les cônes de scories. » Le second tome des *Voyages*, qui contient les lettres d'Auvergne, a été imprimé en 1806, mais il a paru seulement en 1809; c'est donc en 1809 que le nom de domite a été publié pour la première fois. Il est remarquable que quatre ans plus tard, dans le Mémoire de Léop. de Buch sur le trapp-porphyre, il n'est plus question de

domite. J'ai cité dans le texte un profil des Cordillères joint à mon Journal de Voyage (juillet 1802), qui s'étend depuis 4° de latit. bor. jusqu'à 4° de latit. austr., et qui porte pour titre *Affinité entre le feu volcanique et les porphyres;* j'ai voulu rappeler que c'est ce profil, représentant les trois épanchements des groupes volcaniques de Popayan, de los Pastos et de Quito, ainsi que l'éruption du trapp-porphyre dans le granite et le schiste micacé du *Paramo de Assuay*, sur la grande route de Cadlud, à une hauteur de 14568 pieds, qui a disposé Léop. de Buch à m'attribuer d'une manière trop positive et trop bienveillante cette découverte, « que tous les volcans de la chaîne des Andes ont leur siége dans un porphyre formant une espèce de roche distincte, et appartenant essentiellement aux formations volcaniques » (*Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, für* 1812 et 1813, p. 131, 151 et 153). Je puis avoir plus que personne contribué à généraliser la connaissance de ce phénomène; mais Nose, dont a longtemps méconnu les services, avait dès 1789 décrit, dans ses lettres orographiques, la roche volcanique du Siebengebirge « comme une espèce de porphyre particulière à la contrée du Rhin, très-voisine du basalte et du schiste porphyrique. » Il dit que cette formation est caractérisée surtout par le feldspath, qu'il propose de nommer sanidine, et qu'elle appartient, d'après l'âge de sa formation, aux couches stratifiées moyennes (*Niederrheinische Reise,* 1re part., p. 26, 28 et 47; 2e part., p. 428). Léop. de Buch affirme que Nose avait déclaré cette formation de porphyre, qu'il appelle avec peu de bonheur *porphyre granitique,* antérieure, ainsi que les basaltes, aux strates les plus récentes; c'est, je crois, une erreur de sa part. Le grand géognoste, enlevé trop tôt à la science, avait dit que toute cette roche eût dû être désignée sous un nom qui marquât son analogie avec les feldspaths vitreux, sous le nom par exemple de porphyre-sanidine, si elle ne portait pas déjà celui de trapp-porphyre (*Abhandlungen der Berl. Akademie für* 1812-1813,

p. 134). L'histoire de la nomenclature systématique d'une science n'est pas sans importance, en ce sens qu'elle réflète la suite des opinions régnantes.

(35) [page 499]. Humboldt, *Cosmos*, t. I, préface, p. III-VIII.

(36) [page 500]. Léop. de Buch, dans Poggendorff's *Annalen*, t. XXXVII, 1836, p. 188 et 190.

(37) [page 500]. Gustave Rose, dans Gilbert's *Annalen*, t. LXXIII, 1823, p. 173, et *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIV, 1823, p. 16. C'est Breithaupt qui, le premier, a présenté l'oligoclase comme une nouvelle espèce de minéraux (Poggendorff's *Annalen*, t. VIII, 1826, p. 238). On a cru reconnaître plus tard que l'oligoclase est identique avec un minéral observé par Berzélius dans un filon de granite qui a percé le gneiss près de Stockholm, et qu'il avait appelé *Natron-Spodumen*, par des raisons tirées de sa composition chimique. Voy. Poggendorff's *Annalen*, t. IX, 1827, p. 281.

(38) [page 501]. Voy., sur le granite du Riesengebirge, Gustave Rose, dans Poggendorff's *Annalen*, t. LVI, 1842, p. 617. Berzélius n'avait trouvé l'oligoclase, son *Natron-Spodumen*, que dans un filon de granite. Le travail que nous venons de citer présente pour la première fois cette substance comme un des éléments de la masse même du granite. Dans ce Mémoire, Gustave Rose a déterminé l'oligoclase d'après sa pesanteur spécifique, d'après la quantité de chaux qu'il contient, et qui est plus grande que dans l'albite, et sa fusibilité, plus grande aussi que celle de cette substance. Le même spécimen, dont il a trouvé la pesanteur spécifique égale à 2,682, a été aussi analysé par Rammelsberg. Voy. *Handwörterbuch der Mineralogie, Supplem.*, p. 104, et G. Rose, *über die zur Granitgruppe gehörenden Gebirgsarten*, dans la *Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft*, t. I, 1849, p. 364.

(39) [page 501]. Poggendorff's *Annalen*, t. LXVI, 1845, p. 109.

(40) [page 502]. Rozet, *sur les Volcans de l'Auvergne*, dans les *Mémoires de la Société géologique de France*, 2e série, t. I, 1re part., 1844, p. 69.

(41) [page 502]. Les fragments de leucitophyre, que j'ai ramassés sur le Monte-Nuovo, ont été décrits par Gustave Rose, dans les *Geognostische Beobachtungen* de Fréd. Hoffmann (1839, p. 219). Sur les trachytes du Monte di Procida, dans l'île du même nom, et du rocher de San Martino, voy. Roth, *Monographie des Vesuvs*, 1857, p. 519-522, tab. VIII. Le trachyte de l'île d'Ischia contient, dans l'Arso ou courant de laves de Cremate qui date de l'année 1301, du feldspath vitreux, du mica brun, de l'augite verte, du fer magnétique et de l'olivine (*Ibid.*, p. 528); il ne renferme point de leucite.

(42) [page 502]. Les rapports géognostiques et topographiques du Siebengebirge de Bonn ont été développés et généralisés avec beaucoup de sagacité et d'exactitude par mon ami le Directeur des Mines H. de Dechen, dans le Recueil intitulé: *Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preuss. Rheinlande und Westphalens*, 1852, p. 289-567. Toutes les analyses chimiques des trachytes du Siebengebirge, qui ont paru jusqu'à présent s'y trouvent reproduites (p. 323-356); il y est fait mention aussi des trachytes du Drachenfels et du Röttchen, dont la masse principale contient, outre de grands cristaux de sanidine ou feldspath vitreux, beaucoup de petites parties cristallines distinctes. Le docteur Bothe a examiné chimiquement ces parties, dans le laboratoire de Mitscherlich, et les a reconnues pour être de l'oligoclase parfaitement conforme à l'oligoclase de Danwikszoll, près de Stockholm, cité par Berzélius (voy. Dechen, *ibid.*, p. 340-346). La Wolkenburg et le Stenzelberg n'ont point de feldspath vitreux, et appartiennent non pas à la deuxième, mais à la troisième divi-

sion. Ils ont ce qu'on peut appeler la roche du Toluca. Le chapitre qui contient la description géognostique du Siebengebirge, et traite de l'âge relatif des conglomérats trachytiques et basaltiques (p. 405-461) contient beaucoup de points de vues nouveaux. « Aux filons de trachyte qui se présentent plus rarement dans les conglomérats trachytiques, et qui prouvent que la formation du trachyte a continué même après le dépôt de ces conglomérats (p. 413), s'associent d'abondants filons de basalte (p. 416). Il est sûr que la formation basaltique se prolonge jusqu'à une époque plus récente que la formation trachytique, et la masse principale du basalte est ici plus jeune que le trachyte. D'autre part, il n'y a qu'une partie du basalte (p. 323) qui soit plus récente que la grande masse de houille. Les deux formations, le basalte et la houille, se croisent dans le Siebengebirge, de même qu'en tant d'autres endroits, et doivent être regardées dans leur ensemble comme contemporaines. » Là où des cristaux de quartz très-petits se montrent comme une rareté dans les trachytes du Siebengebirge, et d'après Nœggerath et Bischof, dans le Drachenfels et dans la vallée de Rhöndorf, ils remplissent des cavités et paraissent de formation plus récente (p. 61 et 370); ils peuvent avoir été produits par la décomposition du feldspath vitreux ou sanidine. J'ai vu une seule fois, en gravissant le Chimborazo, à une hauteur de 16000 p., de pareils sédiments de quartz, mais très-minces, déposés sur les parois des cavités de quelques masses trachytiques couleur de brique et très-poreuses (Humboldt, *Gisement des roches*, 1823, p. 336). Ces fragments, dont j'ai parlé plusieurs fois dans mon Journal de voyage, manquent aux collections de Berlin. L'altération de l'oligoclase ou de la pâte même de la roche peut donner de semblables traces de silice libre. Quelques points du Siebengebirge méritent encore un examen nouveau et assidu. Le sommet le plus élevé, la Löwenburg, qu'on cite comme du basalte, paraît être, d'après l'analyse de Bischof et de Kjerulf, une roche doléritique (H. de Dechen, p. 383, 386 et 393).

La roche de la petite Rosenau qu'on a appelée quelquefois sanidophyre, appartient, d'après G. Rose, à la première division de ses trachytes, et se rapproche beaucoup de quelques trachytes des îles Ponza. Suivant Abich, dont malheureusement les observations ne sont pas encore publiées, le trachyte du Drachenfels, qui contient de grands cristaux de feldspath vitreux, offre la plus grande ressemblance avec celui du Dsyndserly-dagh, haut de 8000 p. et situé au nord du grand Ararat, au milieu d'une formation de nummulites superposée à des couches dévoniennes.

(43) [page 503]. La très-petite distance qui sépare le cap Perdica dans l'île d'Égine, les célèbres trachytes d'un brun rouge de l'île de Methone, et les sources sulfureuses de Bromolimni rendent vraisemblable que ces trachytes et ceux de l'île Calauria appartiennent aussi à la troisième division de G. Rose (oligoclase mêlé de hornblende et de mica). Voy. Humboldt, *Cosmos*, t. IV, p. 260 et 642 (note 93), et Curtius, *Peloponnesos*, t. II, p. 439 et 446, tab. XIV.

(44) [page 503]. Voy. l'excellente carte géologique des environs de Schemnitz, par le Conseiller des Mines, Jean de Peltko, 1852, et les *Abhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt,* t. II, 1855, 1re part., p. 3.

(45) [page 503]. *Cosmos,* t. IV, p. 452 et 738 (note 64).

(46) [page 503). Les colonnes basaltiques de Pisoje, dont la partie feldspathique a été analysée par Francis (Poggendorff's *Annalen*, t. LII, 1841, p. 471) et qui sont situées dans les plaines d'Amolanga, près des rives du Cauca et des villages de Santa Barbara et de Marmato, se composent d'oligoclase un peu altéré, en grands et beaux cristaux, et de petits cristaux de hornblende. On peut citer, comme se rapprochant beaucoup de ce mélange : le porphyre dioritique quartzifère de Marmato, qui a été rapporté par Degenhardt, et dont la partie feldspathique a été appelée par

Abich andésine ; la roche sans quartz de Cucurusape, près de Marmato, de la collection de Boussingault (Charles Sainte-Claire Deville, *Études de Lithologie,* p. 29) ; la roche que j'ai trouvée à 3 milles géographiques vers l'Est du Chimborazo, sous les ruines de l'ancien Riobamba (Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 183), et enfin la roche des montagnes de l'Esterel, dans le département du Var (Élie de Beaumont, *Explication de la Carte géologique de France,* t. I, p. 473).

(47) [page 504]. J. Marcou, *Résumé of a geological reconnaissance from the Arkensas to California,* July 1854, p. 46 ; *Résumé explicatif d'une carte géologique des États-Unis,* 1855, p. 113, et *Esquisse d'une classification des chaînes de montagnes de l'Amérique du Nord,* 1855, p. 23.

(48) [page 504]. Charles Deville, qui a visité les îles Canaries vers la fin de 1842, a, le premier, reconnu le feldspath dans les trachytes du Ténériffe, voy. son *Voyage géologique aux Antilles et aux îles de Ténériffe et de Fogo* (1848, p. 14, 74 et 169), et l'*Analyse du feldspath de Ténériffe*, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. XIX, 1844, p. 46. « Les travaux de MM. Gustave Rose et H. Abich, dit ce remarquable géognoste, n'ont pas peu contribué, sous le double point de vue cristallographique et chimique, à répandre du jour sur les nombreuses variétés de minéraux qui étaient comprises sous la vague dénomination de feldspath. J'ai pu soumettre à l'analyse des cristaux *isolés avec soin*, et dont la densité en divers échantillons était très-uniformément 2,593, 2,594 et 2,586. C'est la première fois que le feldspath oligoclase a été indiqué dans les terrains volcaniques, à l'exception peut-être de quelques-unes des grandes masses de la Cordillère des Andes. Il n'avait été signalé, au moins d'une manière certaine, que dans les roches éruptives anciennes (plutoniques, granites, syénites, porphyres syénitiques, ...); mais, dans les trachytes

du Pic de Ténériffe, il joue un rôle analogue à celui du Labrador dans les masses doléritiques de l'Etna. » Comp. aussi Rammelsberg, dans la *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, t. V, 1853, p. 691, et le quatrième supplément de son *Handwörterbuch der chemischen Mineralogie*, p. 245.

(49) [page 504]. La mesure trigonométrique du grand volcan mexicain, le Popocatepetl, que j'ai exécutée le 24 janvier 1804, dans le Llano de Tetimba, est la première détermination de hauteur de ce volcan (*Cosmos*, t. IV, p. 47 et 549, note 57). Je trouvai que le sommet était élevé de 1 536 toises au-dessus du Llano; et comme la plaine est située elle-même à 1 234 toises au-dessus de la côte de Véracruz, la hauteur absolue du volcan est de 2770 toises, ou 16 620 pieds. Les mesures barométriques qui ont succédé à ma détermination trigonométrique ont fait supposer que le volcan était plus haut encore que je ne l'avais indiqué dans mon *Essai sur la Géographie des plantes* (1807, p. 148), et dans mon *Essai politique sur la Nouvelle-Espagne* (t. I, 1825, p. 185). William Glennie, qui est parvenu pour la première fois au bord du cratère le 20 avril 1827, a trouvé, d'après son propre calcul (*Gazeta del Sol, publ. en Mexico*, n° 1432), 17884 p. anglais (2796 t.); une rectification du Conseiller supérieur des Mines, Burkart, qui a rendu de si grands services à l'hypsométrie américaine, et la comparaison avec une hauteur barométrique calculée presque simultanément à Véracruz, réduisent cette évaluation à 16900 pieds. Une autre mesure barométrique calculée par Samuel Birbeck, d'après les tables d'Oltmanns (10 nov. 1827), n'a donné que 16753 pieds. Celle d'Alexandre Doignon, qui présente un accord presque trop complaisant avec la mesure trigonométrique de Tetimba, donne 5403 mètres = 16632 pieds (Gumprecht, *Zeitschrift für allgemeine Erdkunde*, t. IV, 1855, p. 390). Un homme d'une rare instruction, actuellement envoyé prussien à Washington, M. de Gerolt, a également vi-

sité, avec le baron Gros, le sommet du Popocatepetl (28 mai 1833), et a trouvé, comme résultat d'une mesure barométrique très-exacte, que la *Roca del Fraile*, située au-dessous du cratère, est à 15 830 pieds au-dessus de l'océan. Les résultats hypsométriques que nous venons de citer dans leur ordre chronologique offrent une contradiction étrange avec une mesure barométrique de M. Craveri, qui paraît avoir été faite très-soigneusement, et a été publiée par Pétermann, dans son important recueil, *Mittheilungen über wichtige neue Erforschungen der Geographie*, 1856, 10e livr., p. 358-361. M. Craveri n'a trouvé, en septembre 1855, pour la hauteur du bord le plus élevé du cratère, celui du Nord-Ouest, comparée au résultat qu'il a obtenu pour la hauteur moyenne de la pression atmosphérique à Véracruz, que 5 230 mètres = 16 099 pieds, c'est-à-dire 521 pieds ou 1/32 de la hauteur totale de moins que je n'avais trouvé, un demi-siècle auparavant, par des mesures trigonométriques. Craveri estime aussi que la hauteur de Mexico au-dessus de la mer est inférieure de 184 pieds à celle que nous avons constatée, Burkart et moi, à des époques bien différentes. Il a trouvé 2 217 mètres, au lieu de 2277 m. = 1168 t. Je me suis expliqué plus en détail, dans le Journal du Dr Pétermann (p. 479-481), sur les variations en plus et en moins qui peuvent affecter mes mesures trigonométriques, lesquelles malheureusement n'ont pas encore été suivies d'une deuxième expérience. Les 453 déterminations de hauteur que j'ai faites, du mois de septembre 1799 au mois de février 1804, à Venezuela, sur les rives boisées de l'Orénoque, de la Magdalena et de la rivière des Amazones, dans les Cordillères de la Nouvelle-Grenade, de Quito et du Pérou et dans les contrées tropicales du Mexique, qui toutes ont été calculées de nouveau par le professeur Oltmanns, d'après la formule de Laplace, avec les coefficients de Ramond, ont été publiées dans mon Nivellement barométrique et géologique (voy. *Recueil d'Observations astronomiques*, t. I, p. 295-334). Les déterminations ont été

faites sans exception avec les baromètres à cuvette et à niveau constant de Ramsden, non pas avec les appareils dans lesquels on peut insérer l'un après l'autre plusieurs tubes de Torricelli récemment remplis, ni avec les instruments que j'avais indiqués et décrits moi-même dans le *Journal de Physique* de Lamétherie (t. IV, p. 468), et qui n'ont été employés quelquefois, en Allemagne et en France, que dans les années 1796 et 1797. Je me suis servi des mêmes baromètres à cuvette portatifs de Ramsden en 1805, dans le voyage que j'ai fait à travers l'Italie et la Suisse avec Gay-Lussac, et nous en avons été contents tous deux. Les excellentes expériences auxquelles l'astronome d'Olmütz, Jules Schmidt, s'est livré sur le bord du cratère du Vésuve (*Beschreibung der Eruption im mai* 1855, p. 114-116) fournissent de nouveaux motifs de satisfaction. Comme je n'ai jamais gravi le sommet du Popocatepetl et que je l'ai mesuré trigonométriquement, le reproche que m'adresse Craveri (Petermann's *Geogr. Mittheilungen,* 10e livr., p. 359), d'avoir attribué à la montagne une hauteur insuffisante, par la raison que, d'après mon propre rapport, j'aurais employé des tubes de Torricelli fraîchement remplis, est absolument dénué de fondement. L'appareil à plusieurs tubes n'est pas même applicable à l'air libre, encore moins sur le sommet d'une montagne; c'est un de ces moyens qui, grâce aux facilités que présentent les grandes villes, peuvent être employés à de longs intervalles, lorsque l'observateur n'est pas suffisamment rassuré sur l'état de ses baromètres. J'y ai rarement eu recours, mais je le recommanderais encore aux voyageurs aussi chaleureusement que je l'ai fait dans mes *Observations astronomiques* (t. I, p. 363-373) : « Attendu qu'il vaut mieux ne pas observer du tout que de faire de mauvaises observations, on doit moins craindre de briser le baromètre que de le voir dérangé. Comme nous avons, M. Bonpland et moi, traversé quatre fois les Cordillères des Andes, les mesures qui nous intéressaient le plus ont été répétées à différentes reprises : on

est retourné aux endroits qui paraissaient douteux. On s'est servi de temps en temps de l'*appareil de Mutis,* dans lequel on fait l'expérience primitive de Torricelli, en appliquant successivement trois ou quatre tubes fortement chauffés, remplis de mercure récemment bouilli dans un creuset de grès. Lorsqu'on est sûr de ne pas pouvoir remplacer les tubes, il est peut-être prudent de ne pas faire bouillir le mercure dans ces tubes mêmes. C'est ainsi que j'ai trouvé, dans des expériences faites conjointement avec M. Lindner, professeur de chimie à l'école des Mines du Mexique, la hauteur de la colonne de mercure à Mexico, dans six tubes, de :

259,7 lignes (ancien pied de Paris)
259,5 — —
259,9 — —
259,9 — —
260,0 — —
259,9 — —

Les deux derniers tubes seuls avaient été purgés d'air au feu, par M. Bellardoni, ingénieur d'instruments à Mexico. Comme l'exactitude de l'expérience dépend en partie de la propreté intérieure des tubes vides, si faciles à transporter, il est utile de les fermer hermétiquement à la lampe. »
Dans les montagnes, on ne peut prendre les angles de hauteur du bord de la mer; les opérations trigonométriques n'y peuvent être simples, et sont en grande partie, souvent pour 1/2 ou 1/2,7 de la hauteur totale, mélangées de mesures barométriques; il en résulte qu'il est très-nécessaire de déterminer la hauteur du plateau où l'on a mesuré la base, mais attendu que l'on ne peut obtenir au bord de la mer, séparé le plus souvent par une grande distance, des observations barométriques correspondantes, les voyageurs sont trop souvent disposés à prendre pour la hauteur moyenne de la pression atmosphérique sur le plateau et au bord de la mer, ce

qu'ils ont conclu d'observations faites pendant quelques jours seulement et dans des saisons différentes. « Pour savoir si une mesure faite au moyen du baromètre peut atteindre l'exactitude des opérations trigonométriques, il ne s'agit que d'examiner si, dans un cas donné, les deux genres de mesures ont été faites dans des circonstances également favorables, c'est-à-dire en remplissant les conditions que la théorie et une longue expérience ont prescrites. Le géomètre redoute le jeu de réfractions terrestres, le physicien doit craindre la distribution si inégale et peu simultanée dans la température de la colonne d'air, aux extrémités de laquelle se trouvent placés les deux baromètres. Il est assez probable que, près de la surface de la Terre, le décroissement du calorique est plus lent qu'à de plus grandes élévations; et pour connaître avec précision la densité moyenne de toute la colonne d'air, il faudrait, en s'élevant dans un ballon, pouvoir examiner la température de chaque tranche ou couche d'air superposée » (Humboldt, *Mémoire sur la Réfraction et les Mesures barométriques,* dans le *Recueil d'Observ. astron.*, t. I, p. 138 et 371). Si la mesure barométrique de MM. Truqui et Craveri donne au sommet du Popocatepetl 16 000 pieds seulement, tandis que Glennie lui en attribue 16 780, la mesure récemment publiée par un voyageur qui a exploré les environs de Mexico et les campagnes de Yucatan et de Chiapa, le professeur du gymnase d'Olmütz Charles Heller, est à 30 pieds près conforme à la mienne (Humboldt, *Mémoire sur la hauteur du volcan mexicain le Popocatepell*, dans Petermann's *Mittheilungen aus Justus Perthes geographischer Anstalt,* 1856, p. 479-481).

(50) [page 504]. Il est impossible, dans la roche du Chimborazo, d'isoler mécaniquement de la masse principale les cristaux de feldspath, comme on peut le faire dans la roche de l'Etna ; mais la quantité relativement considérable de silice que contient la roche du Chimborazo, jointe à la

pesanteur spécifique plus faible de cette roche, ce qui est un caractère en rapport avec le premier, permet de reconnaître que la partie feldspathique n'est autre chose que de l'oligoclase. La teneur de silice et la pesanteur spécifique sont d'ordinaire en proportion inverse : la quotité de silice est, dans l'oligoclase et dans le labrador, de 64 et de 53 pour cent, tandis que la pesanteur spécifique est de 2,66 et 2,71. L'anorthite, qui ne contient que 44 pour 100 de silice, a une pesanteur spécifique égale à 2,76. Ce rapport inverse entre les proportions de silice et les densités des minéraux feldspathiques isomorphes, n'existe plus, comme le fait remarquer Gustave Rose, lorsque les formes cristallines sont différentes. Ainsi, par exemple, le feldspath et la leucite sont composés des mêmes éléments : potasse, alumine et silice; mais le feldspath a 65 et la leucite 56 pour 100 de silice, et cependant le feldspath a une pesanteur spécifique plus considérable (2,56) que la leucite (2,48).

Comme je désirais, au printemps de l'année 1854, obtenir une nouvelle analyse du trachyte du Chimborazo, le professeur Rammelsberg a eu l'obligeance de se livrer à cette opération avec son exactitude habituelle. Je donne ici les résultats de son travail, tels que Gustave Rose me les a communiqués dans une lettre du mois de juin 1854 : « La roche du Chimborazo, m'écrit G. Rose, soumise par le professeur Rammelsberg à une analyse minutieuse, faisait partie de l'un des échantillons que vous avez enlevés à l'étroite arête de rocher qui court sur la montagne, à la hauteur absolue de 2986 toises. »

ANALYSE DE RAMMELSBERG.

(Hauteur, 17 916 pieds; pesanteur spécifique, 2,806.)

			Oxygène.	
Silice	59,12		30,70	2,33
Alumine	13,48		6,30	1
Protoxyde de fer	7,27	1,61	6,93	
Chaux	6,50	1,85		
Magnésie	5,41	2,13		
Soude	3,46	0,89		
Potasse	2,64	0,45		
	97,88			

ANALYSE D'ABICH.

(Hauteur, 15 180 pieds; pesanteur spécifique, 2,685.)

			Oxygène.	
Silice	65,09	....	33.81	2,68
Alumine	15,58	....	7,27	1
Oxyde de fer	3,83	....	1,16	
Protoxyde de fer	1,73	....	0,39	
Chaux	2,61	....	0,73	
Magnésie	4,10	....	1,58	
Soude	4,46	....	1,14	
Potasse	1,99	....	0,33	
Perte causée par la calcination et chlore	0,41	....		
	99,80			

1. Pour mieux faire comprendre ces indications numériques, j'ajouterai que la première rangée exprime la quotité de chaque partie, le tout étant représenté par cent; la seconde et la troisième donnent la quantité d'oxygène contenue dans ces diverses parties. La deuxième rangée n'indique que l'oxygène des oxydes plus forts qui ne contiennent qu'un atome d'oxygène; dans la troisième on a fait la somme de l'oxyde, pour qu'il puisse être comparé à l'alumine, qui est un oxyde faible, et à l'acide silicique; enfin la quatrième rangée donne le rapport entre l'oxygène de l'acide silicique et l'oxygène de toutes les bases, celles-ci étant prises pour unité. Cette proportion est, dans le trachyte du Chimborazo, de 2,33 à 1.

« Il est vrai que les différences entre les résultats de ces deux analyses sont assez considérables. Les deux fragments du Chimborazo qui ont servi aux expériences ont été recueillis à la hauteur de 17916 et de 15180 pieds; elles ont été cassées par vous et appartiennent à la collection géognostique de Berlin. La roche analysée par Abich, qui a été prise à une moindre hauteur (375 p. seulement au-dessus du sommet du mont Blanc), a une pesanteur spécifique moins considérable, et aussi une quantité plus grande d'acide silicique que la roche provenant d'un point plus élevé, qui a été examinée par Rammelsberg. Si l'on suppose que l'alumine appartient à la partie feldspathique, on peut distinguer, dans l'analyse de Rammelsberg :

Oligoclase..............	58,66
Augite..................	34,14
Acide silicique..........	4,08

« Comme, en admettant la présence de l'oligoclase, il reste une certaine quantité de silice libre, il est probable que la partie feldspathique du mélange est de l'oligoclase et non du labrador. Le labrador ne se trouve pas avec la silice libre, et si on admettait la présence du labrador dans la roche, il resterait une quantité plus grande encore de silice. »

Une comparaison attentive de plusieurs analyses, due à l'obligeance de mon savant ami M. Charles Sainte-Claire Deville, qui a eu à sa disposition les riches collections géognostiques de notre ami commun Boussingault, prouve qu'il y a en général plus de silice dans la pâte de la roche trachytique que dans les feldspaths qu'elle contient. Le tableau ci-joint, que l'auteur a bien voulu me communiquer, au mois de juin 1857, comprend cinq des grands volcans de la chaîne des Andes.

NOMS des volcans.	STRUCTURE et couleur de la pâte.	SILICE dans toute la masse.	SILICE dans le feldspath seulement.
	subvitreuse, d'un gris brun.	65,09 Abich..	
CHIMBORAZO	subvitreuse, noirâtre.......	63,19 Deville.	58,26
	compacte, cristalline, grisâtre	62,66 Deville.	
ANTISANA..	d'un gris-noir..............	64,26 Abich..	58,26
	....	63,23 Abich..	
COTOPAXI..	vitreuse, brunâtre..........	69,28 Abich..	
	grenue, compacte..........	63,98 Abich..	
PICHINCHA.	noire, vitreuse............	67,07 Abich..	
PURACÉ....	subvitreuse, vert de bouteille	60,80 Deville.	55,40
GUADELOUPE	grise, grenue, cellulaire....	57,95 Deville.	54,25
BOURBON...	grise, grenue, cellulaire....	50,90 Deville.	49,06

A ce tableau Charles Deville ajoute la remarque suivante : « Ces différences, quant à la richesse en silice, entre la pâte et le feldspath, paraîtront plus frappantes encore, si l'on fait attention qu'en analysant une roche en masse, on analyse, avec la pâte proprement dite, non-seulement des fragments de feldspath semblables à ceux que l'on en a extraits, mais encore des minéraux qui, comme l'amphibole, la pyroxène et surtout le péridot, sont moins riches en silice que le feldspath. Cet excès de silice se manifeste *quelquefois* par des grains isolés de quartz, comme M. Abich les a signalés dans les trachytes du Drachenfels (Siebengebirge de Bonn), et comme moi-même j'ai eu l'occasion de les observer avec quelque étonnement dans le dolérite trachytique de la Guadeloupe. »

« Si, dit Gustave Rose, on ajoute à ce remarquable tableau de la quantité de silice contenue dans la roche du Chimborazo les analyses les plus récentes, qui sont celles de Rammelsberg, (mai 1854), le résultat de Deville est précisément

intermédiaire entre ceux d'Abich et de Rammelsberg. Nous obtenons ainsi :

Roche du Chimborazo.

Silice, 65,09 Abich (pesanteur spécifique, 2,685).
63,19 Deville.
62,66 Deville.
59,12 Rammelsberg (pesant. spécif., 2,806). »

Une gazette publiée à San Francisco, en Californie, l'*Écho du Pacifique* (5 janvier 1857), rapporte qu'un voyageur français, M. Jules Remy, et un Anglais, M. Brencklay, ont réussi, le 3 novembre 1856, à gravir le sommet du Chimborazo « enveloppés dans des brouillards, disent les voyageurs, et sans nous en douter. » M. J. Remy observa le point d'ébullition de l'eau à 77°,5 du therm. cent., la température de l'air étant à 1°,7 au-dessus de zéro. Lorsqu'il calcula, d'après une règle hypsométrique éprouvée dans différents voyages aux îles Sandwich, la hauteur qu'il avait atteinte, il fut surpris du résultat. Il trouva 6 543 mètres, c'est-à-dire une hauteur qui ne diffère que de 40 pieds de celle à laquelle m'avaient conduit mes opérations trigonométriques, sur le plateau de Tapia, près de Riobamba-Nuevo (juin 1803). Cette concordance entre une mesure trigonométrique et une mesure basée sur le point d'ébullition de l'eau serait d'autant plus remarquable que mes mesures trigonométriques, comme toutes celles qui ont été prises dans les Cordillères, renferment une partie barométrique, et que ma détermination barométrique de la hauteur du Llano de Tapia (2891 mètres ou 8 899 pieds) n'est pas aussi exacte que j'aurais désiré, à cause du manque d'observations correspondantes au bord de la mer du Sud. Sur le détail de mes calculs trigonométriques, voy. mon *Recueil d'Observat. astronom.*, t. I, p. LXXII et LXXIV. Le professeur Poggendorff a bien voulu prendre la peine d'examiner auquel de ces résultats doit

conduire le calcul le plus rationnel, dans les circonstances les plus vraisemblables. Il a trouvé que, en supposant la température de l'air, sur le bord de la mer, égale à 27°,5 ou 26°,5 centig., et la hauteur du baromètre ramené à zéro égale à 760$^{m.m.}$, on obtenait, d'après la table de Regnault, le résultat suivant : Le point d'ébullition de l'eau à 77°,5 centig. sur le sommet de la montagne répond à une colonne barométrique de 320$^{m.m.}$,20, par la température de 0°; or, la température de l'air était à 1°,7, que l'on peut remplacer ici pour plus de commodité par 1°,5. D'après ces données, les tables d'Oltmanns fournissent pour la hauteur atteinte par M. J. Remy, dans la première hypothèse (27° 5 cent.), 7 328^{m},2; dans la seconde (26° 5 c.), 7 314^{m},5; soit en moyenne 777 mètres ou 2 390 pieds de plus que ma mesure trigonométrique. Pour que le point d'ébullition fût d'accord avec cette mesure, il aurait dû être de 2°,25 cent. plus élevé, en supposant que le sommet du Chimborazo ait été réellement atteint. Voy. Poggendorff's *Annalen*, t. C, 1857, p. 479.

(51) [page 505]. G. Rose, *Reise nach dem Ural*, t. II, p. 353 et 354.

(52) [page 505]. G. Rose, lorsqu'il mettait en ordre les riches collections siciliennes de Frédéric Hoffmann, dans le cabinet minéralogique de Berlin (1833), s'est convaincu et a convaincu ses amis que les trachytes de l'Etna contiennent du labrador. Dans son Mémoire sur les roches appelées grunstein et grunstein-porphyre (Poggendorff's *Annalen*, t. XXXIV, 1835, p. 29), il mentionne les laves de l'Etna, qui contiennent de l'augite et du labrador. Voy. aussi le beau travail d'Abich sur toute la famille des feldspaths (1840), dans les *Annalen* de Poggendorff (t. IV, p. 347). Léop. de Buch cite la roche de l'Etna comme analogue au dolérite de la formation basaltique (Poggend. *Annalen*, t. XXXVII, 1836, p. 188).

(53) [page 505]. Sartorius de Waltershausen, qui étudie

depuis beaucoup d'années et très-assidûment les trachytes de l'Etna, fait cette remarque importante, que la hornblende appartient principalement aux masses plus anciennes, c'est-à-dire aux filons de grunstein du *Val del Bove* et aux trachytes blancs et rougeâtres qui forment la base de l'Etna, dans la *Sierra Giannicola*. On trouve dans ce lieu, à côté l'une de l'autre, de la hornblende noire et de l'augite claire, de la couleur du poreau. Les torrents de lave récents, à partir de 1669, principalement ceux de 1787, 1809, 1811, 1819, 1832, 1838 et 1842, montrent de l'augite, mais point de hornblende. Cette roche paraît se former sous l'influence d'un refroidissement plus lent (Waltershausen, *über die vulkanischen Gesteine von Sicilien und Island*, 1853, p. 111-114). Dans les trachytes augitiques de la chaîne des Andes appartenant à la 4e division, j'ai trouvé, à côté d'augites abondantes, tantôt une absence complète d'augite, tantôt, comme sur le Cotopaxi, à la hauteur de 13 200 p., et sur le Rucu-Pichincha à 14360 p., quelques rares cristaux noirs et distincts de hornblende.

(54) [page 505]. Comp. Pilla, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XX, 1845, p. 324. Pilla a trouvé, sur la Rocca Monfina, la surface des cristaux de leucite couverte de serpules, ce qui indiquerait une formation sous-marine volcanique. Sur la leucite de l'Eifel dans le trachyte du Burgberg, près de Rieden; sur celle d'Albano, du Lago Bracciano et de Borghetto, au nord de Rome, voy. *Cosmos*, t. IV, p. 267 et 645 (note 93). Au centre des grands cristaux de leucite, Léop. de Buch a presque toujours trouvé le fragment d'un cristal d'augite autour duquel s'est formée la cristallisation de la leucite, « ce qui, dit-il, est assez étrange, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, attendu la grande fusibilité de l'augite et la non-fusibilité de la leucite. Plus souvent encore des morceaux de la pâte même de la leucite-porphyre sont enfermés comme des noyaux. »

L'olivine se trouve en même temps dans les laves, comme par exemple dans les cavités de l'obsidienne, dont j'ai rapporté de mon voyage en Amérique des échantillons recueillis sur le *Cerro del Jacal* (*Cosmos*, t. I, p. 544, note 90), et dans la roche d'hypersthène d'Elfdalen (Berzelius, 6ter *Jahresbericht*, 1827, p. 302) qu'on a prise longtemps pour de la syénite. L'oligoclase offre un contraste analogue; cette roche, en effet, existe à la fois dans les trachytes de volcans encore allumés, par exemple au pic de Ténériffe et sur le Cotopaxi, et parmi le granite et le granitite de Schreibersau et de Warmbrunn, dans le Riesengebirge de la Silésie (voy. sur les roches appartenant au groupe des granites, Gustave Rose, dans la *Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft zu Berlin*, t. I, p. 364). Il n'en est pas de même de la leucite dans les roches plutoniques. Cette assertion qu'on trouve la leucite disséminée dans le schiste micacé et dans le gneiss des Pyrénées, près de Gavarnie, assertion répétée même par Haüy, a été reconnue erronée, à la suite d'études faites sur les lieux pendant plusieurs années par Dufrénoy (*Traité de Minéralogie*, t. III, p. 399).

(55) [page 508]. Je m'étais convaincu durant un voyage géognostique que j'ai fait en 1795 à travers le Sud de la Franconie, l'Ouest de la Suisse et le Nord de l'Italie, que le calcaire jurassique, assimilé par Werner à son calcaire coquillier, est une formation spéciale. Mon écrit sur les gaz souterrains, publié pendant mon séjour dans l'Amérique du Sud, par mon frère Guillaume de Humboldt (1799), contient la première mention de ce gisement, que j'ai désigné provisoirement sous le nom de calcaire jurassique (p. 39). Cette nouvelle formation fut immédiatement adoptée dans les Tables minéralogiques du Conseiller supérieur des Mines Karsten (1800, p. VII et 64), fort répandues à cette époque. Je ne nommais aucune des pétrifications qui caractérisent la formation jurassique, et qui ont été pour Léop. de Buch (1839)

l'occasion de rendre à la science des services dont le souvenir ne s'effacera pas ; je me trompais également sur l'âge que j'attribuais à la formation jurassique. Je la croyais antérieure au calcaire coquillier, à cause de la proximité des Alpes, supposées plus anciennes que le Zechstein. Dans les premiers tableaux de Dukland sur la *Superposition of Strata in the British Islands*, le *Jura Limestone* de Humboldt est rangé dans la classe de l'*Upper Oolite*. Voy. mon *Essai géognostique sur le Gisement des Roches*, 1823, p. 281.

(56) [page 509]. Le nom d'andésite se trouve imprimé pour la première fois dans un Mémoire lu par Léop. de Buch à l'Académie de Berlin, le 26 mars 1835. Ce grand géognoste borne la dénomination de *trachyte* aux roches qui contiennent du feldspath vitreux, et s'exprime en ces termes dans un autre Mémoire lu également au mois de mars 1835, mais imprimé seulement en 1836 (Poggend. *Annalen*, t. XXXVII, p. 188-190) : « Les découvertes de Gustave Rose sur le feldspath ont éclairé d'un grand jour la théorie des volcans et toute la géognosie ; les roches volcaniques y ont gagné de se présenter sous un aspect tout à fait inattendu. Après des recherches attentives et plusieurs fois répétées aux environs de Catane et sur l'Etna, nous nous sommes convaincus, Élie de Beaumont et moi, que le feldspath ne se trouve absolument pas dans l'Etna, non plus que le trachyte. Toutes les coulées de laves, ainsi que toutes les couches intérieures se composent d'un mélange d'augite et de labrador. Quant le feldspath est remplacé par l'albite, il se manifeste encore une différence importante dans les roches des volcans ; il se produit alors une roche nouvelle qui ne peut plus être appelée trachyte. D'après les recherches actuelles de G. Rose, on peut presque assurer que pas un volcan, dans toute la chaîne des Andes, ne se compose de trachyte, mais que tous contiennent de l'albite dans leur masse constitutive. Cette affirmation semble hasardée au premier abord ; mais elle

perd cette apparence, si nous considérons que le seul voyage de M. de Humboldt nous a déjà fait connaître presque la moitié de ces volcans et de leurs produits au-delà et en deçà de l'équateur. Nous connaissons, par Meyen, la roche riche en albite de la Bolivie et du Chili septentrional; nous suivons cette roche, grâce à Pœppig, jusqu'à la frontière la plus méridionale du Chili, nous la retrouvons avec Erman dans les volcans du Kamtschatka. Sa prédominance marquée sur une aussi vaste étendue paraît justifier le nom d'andésite, par lequel on a déjà plusieurs fois désigné ce mélange de beaucoup d'albite avec un peu de hornblende. Presque à la même époque, Léop. de Buch est allé plus loin encore, dans les additions dont il a enrichi d'une manière si notable l'édition française de son ouvrage sur les îles Canaries. Il estime que les volcans du Pichincha, du Cotopaxi, du Tungurahua, du Chimborazo se composent tous d'andésite, que les volcans mexicains au contraire sont de véritables trachytes contenant de la sanidine (*Description physique des îles Canaries*, 1836, p. 486, 487, 490 et 515). La classification lithologique des volcans du Mexique et des Andes que j'ai donnée plus haut montre que, scientifiquement, il est impossible d'admettre une pareille uniformité de constitution minéralogique, ni une dénomination générale empruntée à une grande contrée. Après que Léop. de Buch eut prononcé pour la première fois, dans les *Annalen* de Poggendorf, ce nom d'andésite, qui a occasionné tant de confusion, j'ai eu le tort de m'en servir moi-même deux fois: d'abord en 1836, dans le récit de mon ascension au Chimborazo (Schuhmacher's *Jahrbuch für* 1837, p. 204 et 205; voy. aussi mes *Mélanges de Physique générale et de Géologie*, t. I, p. 182); ensuite en 1837, dans un Mémoire sur le plateau de Quito (Poggend. *Annalen*, t. XL, p. 165). En m'opposant fortement dès cette époque à la prétention de mon vieil ami, touchant la constitution homogène des volcans des Andes, je disais: « les découvertes récentes ont appris que les différentes zones ne présentent pas toujours la même composition miné-

ralogique, c'est-à-dire que le mélange n'est pas toujours formé des mêmes parties. Tantôt ce sont des trachytes proprement dits qui sont caractérisées par le feldspath vitreux, comme au Pic de Ténériffe et dans le Siebengebirge de Bonn, où l'albite se mêle en petite quantité au feldspath, des trachytes feldspathiques qui, en qualité de volcans actifs, produisent souvent de l'obsidienne et de la pierre ponce; tantôt ce sont des mélaphyres ou un mélange doléritique de labrador et d'augite, qui se rapproche davantage de la formation basaltique, comme sur l'Etna, le Stromboli et le Chimborazo. Quelquefois aussi l'albite prédomine avec la hornblende, comme dans ce qu'on est convenu d'appeler récemment les andésites du Chili, comme dans les magnifiques colonnes de Pisoje, près de Popayan, décrites sous le nom de porphyre dioritique, comme au pied du volcan de Puracé ou sur le volcan mexicain du Jorullo; tantôt enfin ce sont des leucitophyres, des mélanges de leucite et d'augite, comme dans la Somma, l'antique paroi du cratère de soulèvement du Vésuve. »

C'est par une fausse interprétation de ce passage, qui porte des traces nombreuses de l'état imparfait de la science à cette époque, qui attribue, par exemple, au Pic de Ténériffe du feldspath au lieu d'oligoclase, au Chimborazo du labrador, au volcan de Toluca de l'albite, que l'ingénieux Abich, à la fois chimiste et géognoste (Poggendorff's *Annalen*, t. LI, 1840, p. 523), me rend moi-même responsable de l'invention du mot andésite, pour désigner une espèce de roche trachytique très-répandue et riche en albite. Abich a donné à une espèce nouvelle et un peu problématique de feldspath qu'il avait analysée le premier, le nom d'andésine, en considération de la roche de Marmato, près de Popayan, dans laquelle elle a été reconnue pour la première fois. L'andésine (pseudo-albite, tirée de l'andésite) se placerait entre le labrador et l'oligoclase. A la température de 15° R., sa pesanteur spécifique est de 2,733; celle de l'andésite, dans laquelle a été trouvée l'andésine, est de 3,593. Gustave Rose a

mis en doute, ainsi que l'a fait plus tard Charles Deville (*Études de Lithologie*, p. 30), l'existence de l'andésine comme espèce indépendante, laquelle ne repose en effet que sur une seule analyse d'Abich, et parce que l'analyse faite dans le laboratoire de Henri Rose par Francis (Poggendorff's *Annalen*, t. LII, 1841, p. 472) de la partie feldspathique contenue dans le beau porphyre dioritique que j'ai rapporté de Pisoje près de Popayan, indique à la vérité une grande analogie avec l'andésine de Marmato, analysée par Abich, mais révèle cependant une composition différente. La prétendue andésine de la syénite des Vosges que l'on rencontre sur le ballon de Servance et à Coravillers, et dont Delesse a donné l'analyse, est beaucoup moins sûre encore. Comp. G. Rose, dans la *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, für* 1849, p. 369. Il n'est pas sans importance de faire remarquer ici que le nom d'andésine, cité par Abich comme celui d'un minéral simple, se trouve pour la première fois dans son important Mémoire, intitulé *Beitrag zur Kenntniss des Feldspaths* (Poggend. *Annalen*, t. L, p. 125 et 341 ; t. LI, p. 519), d'où il résulte que ce nom fut introduit en 1840, c'est-à-dire cinq années au moins après la dénomination donnée à l'andésite, et non pas avant, comme on l'a dit quelquefois par erreur. Il est possible que les formations du Chili riches en albite, que Darwin appelle si souvent *andesitic granite* et *andesitic porphyre* (*Geological Observations on South America*, 1846, p. 174), contiennent aussi de l'oligoclase. Gustave Rose, dont l'ouvrage *über die Nomenclatur der mit dem Grünstein und Grünsteinporphyr verwandten Gebirgsarten* a paru dans la même année 1835 où Léop. de Buch s'est servi du nom d'andésite (Poggendorff's, *Annalen*, t. XXXIV, p. 1-30), n'a jamais employé ni dans ce traité ni ailleurs cette dénomination. La définition de cette roche, d'après la nature bien connue aujourd'hui des parties qui la composent, n'est pas albite et hornblende, mais, au moins dans les Cordillères de l'Amérique du Sud, oligoclase et augite. Le mythe déjà vieilli de l'andésite que

j'ai peut-être expliqué avec trop de détail, nous prouve de nouveau, comme tant d'autres exemples empruntés à l'histoire de la connaissance du globe, que des assertions erronées ou avancées légèrement, en particulier le penchant à confondre les variétés avec les espèces, rendent souvent aux sciences descriptives le service de provoquer des observations plus exactes.

(57) [page 509]. Abich a décrit dès 1840 (*über die Natur und die Zusammensetzung der Vulkan-Bildungen*, p. 46) des trachytes-oligoclases recueillis au sommet du Kasbegk et dans une partie de l'Ararat. Aussi Gustave Rose a-t-il fait observer prudemment (Poggend. *Annalen*, t. XXXIV, p. 30) « qu'il n'avait pas tenu compte jusque-là dans ses déterminations de l'oligoclase et du périclin, qui cependant entraient vraisemblablement dans la composition des trachytes. » L'opinion, très-répandue jadis, qu'une certaine prédominance de l'augite ou de la hornblende permettait de conclure à une espèce déterminée dans le groupe des feldspaths : à l'orthoclase vitreux (sanidine), au labrador ou à l'oligoclase, paraît considérablement affaiblie par la comparaison des roches du Chimborazo et du Toluca, c'est-à-dire des trachytes de la troisième et de la quatrième division. La hornblende et l'augite se trouvent également en abondance dans la formation basaltique, ce qui n'a jamais lieu dans les trachytes; mais j'ai trouvé des cristaux d'augite, fort clair-semés il est vrai, dans la roche du Toluca, et quelques cristaux de hornblende dans des parties des roches du Chimborazo, du Pichincha, du Puracé et de Ténériffe. Les olivines, qui manquent si rarement dans les basaltes, sont aussi rares dans les trachytes que dans les phonolites: cependant nous voyons quelquefois, dans des coulées de laves, des olivines se former en abondance à côté des augites. Le mica est généralement très-rare dans les basaltes; bien qu'il existe en abondance sur quelques sommets trachytiques du Mittelgebirge de la Bohême, dont Reuss, Freiesleben et moi, avons donné la

première description. L'isolement inaccoutumé de certains minéraux et les lois de leur association spécifique tiennent probablement à beaucoup de causes inconnues jusqu'à présent, qui agissent sur la pression, sur la température, sur la fluidité et la rapidité du refroidissement. Mais ces différences spécifiques d'association sont d'une haute importance dans les roches mélangées et dans les masses des filons. Il faut bien se garder de confondre, dans les descriptions géognostiques qui ont pu être faites au milieu de la libre nature et en présence même des objets, l'élément prédominant ou du moins ce qui fait rarement défaut, avec les parties qui ne se montrent qu'en faible quantité et comme par hasard. La variété qui se manifeste dans les éléments d'une roche composée, par exemple dans les trachytes, se reproduit, comme je l'ai déjà dit plus haut, dans les roches elles-mêmes. Il y a sur les continents de vastes pays où les formations trachytique et basaltique s'excluent mutuellement, comme les basaltes et les phonolites; il y en a d'autres où les basaltes et les trachytes alternent à de très-faibles intervalles (Comp. Gustave Jenzsch, *Monographie der böhmischen Phonolithe*, 1856, p. 1-7).

(58) [page 510]. Comp. Bischof, *Chemische und physikalische Geologie*, t. II, 1851, p. 2288 et 2297. Voy. aussi Roth, *Monographie des Vesuvs*, 1857, p. 305.

(59) [page 511]. *Cosmos*, t. IV, p. 373.

(60) [page 511]. Il est à peine utile de faire remarquer que, si l'on dit que telle ou telle roche *manque*, cela signifie qu'on l'a vainement cherchée dans un nombre suffisant de volcans, couvrant un territoire considérable. Je distingue les roches qui *manquent*, c'est-à-dire que l'on n'a pu trouver, celles que l'on *trouve rarement*, et celles que l'on *rencontre fréquemment*, alors même que leur présence n'est pas un signe nécessaire et caractéristique.

(61) [page 511]. Charles d'Oeynhausen, *Erklärung der geognostichen Karte des Laacher Sees*, 1847, p. 38.

(62) [page 512]. Kœhler et Hofmann, *Bergmännisches Journal*, 5e année, t. I, 1792, p. 244, 251 et 265. Le basalte riche en mica, tel que celui que l'on trouve à la cime du Gamay dans le Mittelgebirge, est une rareté. J'ai visité cette partie des montagnes de la Bohême en 1792, avec Charles Freiesleben qui, plus tard, m'accompagna en Suisse, et qui a eu une si grande influence sur mon éducation géognostique et minéralogique. Bischof révoque en doute tout production pyrogénique du mica, et croit que cette substance est produite métamorphiquement par la voie humide, voy. son *Lehrbuch der chemisch. und physikal. Geologie*, t. II, p. 1426 et 1439.

(63) [page 512]. Jenzsch, *Beiträge zur Kenntniss der Phonolithe*, dans la *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, t. VIII, 1856, p. 36.

(64) [page 512]. Gustave Rose, *über die zur Granitgruppe gehörigen Gebirgsarten*, dans le même Journal, t. I, 1849, p. 359.

(65) [page 512]. Les porphyres de Moran, de Real del Monte et de Regla, célèbre par la richesse des mines d'argent de la *Veta Biscayna*, et par la proximité des obsidiennes et des perlites du *Cerro del Jacal* et du *Cerro de las Navagas*, sont presque complétement dépourvus de quartz, comme presque tous les porphyres métallifères de l'Amérique. On peut consulter sur ces phénomènes et sur les phénomènes complétement analogues que présente la Hongrie, Humboldt, *Essai géognostique sur le Gisement des Roches*, p. 179-188 et 190-193; mais les porphyres d'Acaguisotla, sur la route d'Acapulco à Chilpanzingo, comme ceux de Villalpando, au nord de Guanaxuato, qui sont traversés par des filons aurifères, contiennent, à côté de sanidine, des grains de quartz brunâtre.

Dans les roches volcaniques du *Cerro de las Navajas* et du *Valle de Santiago*, riche en basalte et en perlite, que l'on traverse pour aller de Valladolid au volcan de Jorullo, il est généralement rare de voir des grains d'obsidienne et de feldspath vitreux, enfermés dans la pâte. J'ai été d'autant plus surpris, au mois de septembre 1803, de trouver entre Capula et Pazcuaro, particulièrement près d'Yurisapundaro, toutes les fourmilières remplies de grains brillants d'obsidienne et de sanidine (voy. *Nivellement barométrique*, p. 327, nº 366, et *Essai géognostique sur le Gisement des Roches*, p. 356). J'avais peine à comprendre que des insectes si petits pussent apporter ces minéraux de si loin. J'ai vu avec beaucoup de plaisir qu'un explorateur intrépide, M. Jules Marcou, a observé un fait complétement analogue. « Il existe, dit-il, sur les hauts plateaux des Montagnes Rocheuses, surtout aux environs du fort Defiance (à l'ouest du Mont-Taylor), une espèce de fourmis qui, au lieu de se servir de bois et de débris de végétaux, pour élever son édifice, n'emploie que de petites pierres de la grosseur d'un grain de maïs. Son instinct la porte à choisir les fragments de pierres les plus brillants : aussi la fourmilière est-elle souvent remplie de grenats transparents magnifiques et de grains de quartz très-limpides. » (*Résumé explicatif d'une Carte géographique des États-Unis*, 1855, p. 3).

Le feldspath vitreux est très-rare dans les laves récentes du Vésuve; il n'en est pas de même dans les laves anciennes, par exemple dans celles qu'a produites l'éruption de 1631, où cette roche existe à côté de cristaux de leucite. Souvent le torrent de lave qu'a déversé en 1631 l'Arso de Cremate, dans l'île d'Ischia, et qu'il ne faut pas confondre avec le torrent situé près de Montagnone et de Rotaro et décrit par Strabon (*Cosmos*, t. IV, p. 298 et 665, note 68), contient aussi une grande quantité de sanidine sans trace de leucite. Le feldspath vitreux est aussi rare dans les trachytes du Cotopaxi, ou des autres volcans des Cordillères, que dans les carrières

souterraines de pierre ponce, situées au pied du Cotopaxi. Les minéraux que renferment ces carrières, et que l'on a décrits jadis comme de la sanidine, ne sont autre chose que des cristaux d'oligoclase.

(66) [page 513]. Roth, *Monographie des Vesuvs*, p. 267 et 382.

(67) [page 514]. Voy. plus haut, p. 787 (note 53); Rose, *Reise nach dem Ural*, t. II, p. 369; Bischof, *Chemische und Physik. Geologie*, t. II, p. 528-571.

(68) [page 514]. Gilbert's *Annalen der Physik*, t. VI, 1800, p. 53; Bischof, *Geologie*, t. II, p. 2265-2303.

(69) [page 515]. Les laves récentes du Vésuve ne contiennent ni olivine ni feldspath vitreux (Roth, *Monogr. des Vesuvs*, p. 139). Le torrent de lave qui est sorti du Pic de Ténériffe en 1704, et a été décrit par Viera et par Glas, est, d'après Léop. de Buch, le seul qui contienne de l'olivine (*Description des îles Canaries*, p. 207), mais j'ai combattu ailleurs (*Examen critique de l'histoire de la Géographie*, t. III, p. 143-146) cette assertion que l'éruption de 1704 ait été la première depuis la conquête des îles Canaries à la fin du xve siècle. Christophe Colomb, dans son premier voyage, lorsqu'il alla visiter Doña Beatriz de Bobadilla, dans la *Gran Canaria*, vit, durant les nuits du 21 au 25 août, l'éruption ignée de Ténériffe. On lit dans le Journal de l'Amiral, sous la rubrique *Jueves 9 de Agosto*, qui comprend des notes jusqu'au 2 septembre : « Vieron salir gran fuego de la Sierra de la Isla de Tenerife, que es muy alta en gran manera » (Navarette, *Colec. de los Viages de los Españoles*, t. I, p. 5). Il ne faut pas confondre la dame que nous venons de nommer avec Doña Beatriz Henriquez de Cordova, mère naturelle du savant Don Fernando Colon, l'historien de son père, dont la grossesse contribua tant, en 1488, à retenir Colomb en Espagne, et fut cause, que le Nouveau-Monde fut découvert pour le compte du royaume de Cas-

tille et de Léon, au lieu de l'être pour celui du Portugal, de la France ou de l'Angleterre (voy. mon *Examen critique*, etc., t. III, p. 350 et 367).

(70) [page 515]. *Cosmos*, t. IV, p. 264.

(71) [page 515]. Une partie importante des roches recueillies pendant mon expédition en Amérique a été envoyée au cabinet minéralogique de Madrid, en Toscane, en Angleterre et en France. Je ne parle pas des collections géologiques et botaniques restées entre les mains de mon noble ami et collaborateur Bonpland, qui les possède à double titre, puisqu'il en a découvert et réuni les éléments. Ce partage des collections, qui n'exclue pas la réunion en groupes au point de vue géographique, lorsqu'on a pris soin d'indiquer la provenance de chaque objet, permet de soumettre les minéraux dont l'association habituelle caractérise les roches à des examens plus variés et plus rigoureux.

(72) [page 515]. Humboldt, *Mélanges de Géologie et de Physique générale*, t. I, p. 157.

(73) [page 515]. *Ibid.*, p. 214, et *Cosmos*, t. IV, p. 363.

(74) [page 516]. J'ai trouvé également beaucoup d'olivine au Mexique, dans le *Tezontle* du *Cerro de Axusco*, formé de lave cellulaire ou d'amygdaloïde basaltique. *Tetzontle*, en mexicain *tetzontli*, veut dire cheveu de pierre (de *etl*, pierre, et *tzontli*, cheveu).

(75) [page 516]. Sartorius de Waltershausen, *Physisch-geographische Skizze von Island*, p. 64.

(76) [page 516]. Berzelius, 6ter *Jahresbericht*, 1827, p. 392, Gustave Rose dans Poggend. *Annalen*, t. XXXIV, 1835, p. 14. Voy. aussi *Cosmos*, t. I, p. 545.

(77) [page 516]. Jenzsch, *Phonolithe*, 1856, p. 37, et Senft,

dans l'important ouvrage intitulé *Classification der Felsarten*, 1857, p. 187. D'après Scacchi, l'olivine se trouve également à côté du mica et de l'augite, dans les blocs calcaires de la Somma. J'appelle ces masses remarquables des *blocs rejetés*, et non des laves ; la Somma n'a jamais vomi de laves.

(78) [page 516]. Poggend. *Annalen*, t. XLIX, 1840, p. 591, et t. LXXXIV, p. 302 ; Daubrée, dans les *Annales des Mines*, 4e série, t. XIX, 1851, p. 669.

(79) [page 516]. *Cosmos*, t. I, p. 146, et t. III, p. 629.

(80) [page 516]. *Ibid.*, t. I, p. 545 (note 90).

(81) [page 517]. Humboldt, *Voyage aux régions équinoxiales*, in-4, t. I, p. 156-165.

(82) [page 518]. *Cosmos*, t. IV. p. 373.

(83) [page 518]. Scacchi, *Osservazioni critiche sulla maniera come fu sepellita l'antica Pompei*, 1843, p. 10. Contre l'opinion mise en avant par Carmine Lippi et soutenue plus tard par Tondi, Tenore, Pilla et Dufrénoy, que Pompéi et Herculanum n'auraient pas été ensevelis sous les cendres et les rapillis venus directement de la Somma, et que leur disparition serait due à l'action des courants d'eau, on peut consulter Roth, *Monogr. des Vesuvs*, 1857, p. 458. Voy. aussi *Cosmos*, t. IV, p. 477.

(84) [page 519]. *Nivellement barométrique*, dans Humboldt, *Observat. astronom.*, t. I, p. 305, n° 149.

(85) [page 519]. *Cosmos*, t. IV, p. 376.

(86) [page 519]. Sur les collines de pierre ponce de Tollo, situées à deux journées du volcan actif de Maypu, qui n'a jamais rejeté un quartier de pierre ponce, voy. Meyen, *Reise um die Erde*, t. I, p. 338 et 358.

(87) [page 519]. Pöppig, *Reise in Chili und Peru*, t. I, p. 426.

(88) [page 520]. Comp. *Cosmos*, t, IV, p. 437.

(89) [page 520]. Franz Junghuhn, *Java*, t. II, p. 388 et 592.

(90) [page 521]. Léop. de Buch, dans les *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin für* 1812-1813 (Berlin, 1816), p. 128.

(91) [page 521]. C'est ce que dit Théophraste, au sujet de la pierre de Lipari, λιπαραῖος (*de Lapidibus*, §§ 14 et 15, t. I, p. 689, t. II, p. 426, et t. IV, p. 551 de l'édit. publiée par Schneider, 1818.)

(92) [page 521]. Rammelsberg, dans Poggend. *Annalen*, t. LXXX, 1850, p. 464, et *Chemisches Handwörterbuch*, 4e supplém., p. 169; comp. aussi Bischof, *Geologie*, t. II, p. 2224, 2232 et 2280.

(93) [page 523]. *Cosmos*, t. IV, p. 334, 362, 364-368, 375-377 et 388. Sur les particularités que peut offrir la distribution géographique des pierres ponces et des obsidiennes dans la zone tropicale du Nouveau-Continent, voy. Humboldt, *Essai géognostique sur le Gisement des Roches*, 1823, p. 340-342 et 344-347.

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES

POUR LE TOME IV.

(*a*) A ce que nous avons dit page 89 de ce volume, il convient d'ajouter ce qui suit :

Arago a laissé un trésor d'observations magnétiques (plus de 52,600) comprenant les années 1818-1835, qui, laborieusement rédigées par M. Fedor Thoman, ont été publiées dans les *Œuvres complètes d'Arago* (t. IV, p. 498).

Dans la série des observations de 1721 à 1830, le général Sabine (*Meteorological Essays*, London, 1855, p. 355) a trouvé la confirmation la plus complète de la période décennale de la déclinaison magnétique, et a reconnu le rapport de cette période avec une autre d'égale durée, qui ramène l'abondance ou la rareté des taches solaires. Déjà, en 1850, lorsque Schwabe faisait connaître, à Dessau, les périodes des taches du Soleil (*Cosmos*, t. III, p. 454), et deux années avant d'avoir déclaré pour la première fois (mars 1852) que la période décennale de la déclinaison magnétique est dépendante des taches solaires (voy. *Philos. Transact. for* 1852, 1re part., p. 116-121; *Cosmos*, t. IV, p. 558, note 90). Sabine avait trouvé cet important résultat que le Soleil agit sur le magnétisme terrestre par la force magnétique inhérente à sa masse. Il avait découvert (*Philos. Transact. for* 1850, t. I, p. 216 ; *Cosmos*, t. IV, p. 158) que l'intensité magnétique atteint son maximum, et que l'aiguille aimantée se rapproche le plus de la verticale, quand la Terre est le plus rapprochée du Soleil. La découverte d'une telle influence, exercée par le corps central de notre système planétaire, qui agit dans ce cas non comme producteur de chaleur, mais en vertu de la force magnétique qui lui est propre, ainsi que par les variations de la photosphère, c'est-à-dire par les changements dans la grandeur et la fréquence des ouvertures en forme d'entonnoir dont est percée l'enveloppe lumineuse du Soleil,

donne un intérêt plus général et plus élevé à l'étude du magnétisme terrestre, et au réseau d'observatoires magnétiques qui ont couvert la Russie et l'Asie du Nord, depuis les décrets de 1829, ainsi que les colonies britanniques de 1840 à 1850. (Voy. *Cosmos,* t. I, p. 213 et 510, note 66; t. IV, p. 82, 86; Sabine, dans *Proceedings of the Royal Society,* t. VIII, n° 25, p. 400, et dans *Philos. Transact. for* 1856, p. 362).

(*b*) Nous devons ajouter à ce qui est dit page 98, les observations suivantes :

Bien que, relativement au Soleil, la proximité de la Lune ne paraisse pas compenser la petitesse de sa masse, cependant la variation constatée de la déclinaison magnétique dans le courant d'une journée lunaire (lunar-diurnal magnetic variation) est une raison de surveiller constamment les influences magnétiques du satellite de la Terre (voy. Sabine, dans *Report to the British Association at Liverpool,* 1854, p. 11, et pour Hobarton, dans *Philos. Transact. for* 1857, art. I, p. 6). Kreil a eu le mérite de poursuivre cette étude avec beaucoup de soin de 1839 à 1852 (voy. son traité *über den Einfluss des Mondes auf die horizontale Componente der magnetischen Erdkraft,* dans *Denkschriften der Wiener Akademie der Wissensch.* (*Mathem., naturwissensch. Classe*), t. V, 1853, p. 45, et *Philos. Transact. for* 1856, art. XXII).

Comme les observations de Kreil, continuées pendant plusieurs années à Milan et à Prague, confirmaient l'opinion que l'influence de la Lune aussi bien que les taches du Soleil produisent une période décennale de déclinaison, cette considération engagea le général Sabine à entreprendre un grand travail sur cette matière. Il a trouvé que l'influence seule du Soleil produit une période décennale, qui, constatée déjà pour Toronto par l'application d'une formule de calcul particulière et très-exacte, est devenue également manifeste (*Philos. Transact. for* 1856, p. 361), à la suite des innombrables observations horaires faites à Hobarton, depuis le mois de janvier 1841 jusqu'au mois de décembre 1848. Ainsi, dans les deux hémisphères du Nord et du Sud, l'influence du Soleil a donné le même résultat, mais on a acquis en même temps la certitude « that the lunar diurnal variation corresponding to different years shows no conformity to the inequality manifested in those of the solar-diurnal variation. The earth's inductive action, reflected from the

moon, must be of a very little amount » (Sabine, dans *Philos. Transact. for* 1857, art. I, p. 7, et dans *Proceedings of the Royal Society,* t. VIII, n° 20, p. 403). Comme il y a près de trois ans, ajoutait Humboldt quelque temps avant de mourir, que la partie magnétique de ce volume a été imprimée, il m'a paru nécessaire de compléter par quelques additions une branche de la science qui a été pour moi l'objet de si longues études.

APERÇU ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LES QUATRE TOMES DU COSMOS[1]

Nota. — Il est entendu que les renvois aux pages se complètent par les renvois de ces pages elles-mêmes aux notes.

TOME I.

INTRODUCTION.

Considérations sur les différents degrés de jouissance qu'offrent l'aspect de la nature et l'étude de ses lois. — L'ensemble des phénomènes est le but le plus élevé des observations de la nature. — La nature considérée rationnellement est l'unité dans la diversité. — Degrés différents dans la jouissance de la nature. — Influence du *grand air* ou de l'*air libre*, indépendamment du caractère propre à la contrée. — Effets produits par la configuration individuelle du sol et l'aspect des végétaux. Souvenir des Cordillères et du volcan de Ténériffe. Attrait particulier aux contrées montagneuses de l'équateur, où il est donné à l'homme de contempler en même temps tous les astres du ciel et toutes les formes végétales, p. 1-14. — Sentiment qui nous porte à rechercher les causes des

(1) Nous n'avons pas cru devoir amoindrir la première édition française du *Cosmos*, en supprimant les *aperçus analytiques* qui étaient à la fin de quelques-uns des volumes, et dont le quatrième volume manquait à peu près. Tout en reconnaissant leur insuffisance, au moins comme moyen de recherche, nous les avons réunis, en les complétant surtout en ce qui concerne le quatrième volume, à la fin de l'ouvrage. Nous savons très-bien que le public français n'accepterait pas une Table alphabétique indigeste comme celle que l'on a donnée en Allemagne, sous le titre de cinquième volume du *Cosmos*, Table presque aussi volumineuse que le corps même de l'ouvrage auquel elle est exclusivement consacrée; mais nous nous réservons de donner, à la suite des œuvres de Humboldt telles que nous avons le projet de les publier d'après le vœu de l'auteur lui-même, une Table analytique consacrée à l'ensemble de ces œuvres et réduite à des limites raisonnables, rédigée et ordonnée avec cette clarté toute française qui faisait l'admiration de l'illustre savant allemand et qu'il regrettait de ne pas toujours rencontrer chez ses compatriotes.

phénomènes physiques. — Vues erronées sur l'essence des forces de la nature, dues à l'insuffisance des observations et au peu de rigueur de l'induction. — Préjugés physiques légués par chaque siècle au siècle suivant. — Crainte que la nature ne perde quelque chose de son charme mystérieux aux yeux de ceux qui pénètrent dans le mécanisme de ses forces. Supériorité des vues générales qui donnent à la science un caractère plus élevé et plus imposant Distinction du général et du particulier. Exemples empruntés à l'astronomie, aux récentes découvertes en optique, à la physique de la terre et à la géographie des plantes. La description physique du monde est une étude accessible à tous ; p. 15-40. — Abus de la science populaire, et distinction entre une description du monde et une encyclopédie des sciences naturelles. Influence de cette étude sur la richesse nationale et le bien-être des peuples ; elle a cependant pour but, avant tout, d'agrandir et de féconder l'intelligence. Mode d'exposition approprié à la description du monde ; alliance intime entre la pensée et le langage, p. 40-48.

SUITE DE L'INTRODUCTION.

Limites et méthode d'exposition de la description physique du monde. — Questions comprises dans la science du Cosmos, ou dans la description physique du monde, p. 49-58. — La partie sidérale du Cosmos moins complexe que la partie terrestre ; l'impossibilité de percevoir l'hétérogénéité des corps célestes simplifie le mécanisme des cieux. — Signification primitive du mot Cosmos (*ornement* et *ordre du monde*). On ne peut séparer, pour comprendre la nature, l'état actuel des choses de leurs phases successives. *Histoire du monde* et *description du monde*, p. 58-70. — Efforts pour réduire l'infinie variété des phénomènes à l'unité d'un principe et à l'évidence des vérités rationnelles. — De tout temps l'observation exacte des faits a été précédée par la philosophie de la nature, c'est-à-dire par un effort naturel, mais quelquefois mal dirigé, de la raison. — Deux formes d'abstractions dominent l'ensemble de nos connaissances : des rapports de quantité relatifs aux idées de nombre ou de grandeur, et des rapports de qualité qui embrassent les propriétés spécifiques de la matière. — Moyen de soumettre les phénomènes au calcul. Constructions mécaniques de la matière : atomes et molécules ; hypothèses des matières impondérables et des forces vitales propres à chaque organisme. — Les résultats de l'observation et de l'expérimentation, fécondées par l'analogie et l'induction, conduisent à la découverte des *lois empiriques*. Simplification et généralisation progressive de ces lois. — Nécessité d'ordonner les matériaux d'après des combinaisons rationnelles. Le monde des idées n'est pas un monde de fantômes ; la philosophie ne peut vouloir détruire les richesses accumulées, depuis un grand nombre de siècles, par tant d'observations laborieuses, p. 70-78.

PREMIÈRE PARTIE.

LE CIEL.

Un tableau de la nature embrasse l'universalité des choses dans les deux sphères du ciel et de la terre. — Mise en œuvre qui convient à un pareil sujet. — Ordre à suivre dans l'exposition. — Liaison des phénomènes entre eux. — La *détermination numérique des valeurs moyennes* est le résultat final que l'on doit se proposer, pour tous les changements produits dans l'espace. — Les espaces célestes, jouant un plus grand rôle dans la création, sont le point de départ naturel d'une description du monde, où l'on ne doit pas prendre pour guide l'intérêt humain ni des convenances de proximité. Répartition de la matière dans l'espace. Tantôt elle est condensée en globes de grandeur et de densité très-diverses, animés d'un double mouvement de rotation et de translation; tantôt elle est disséminée sous forme de nébulosités phosphorescentes. Enchaînement des divers phénomènes de la nature, p. 79-88.

Contenu des espaces célestes. — Formes variées des nébuleuses; nébuleuses planétaires et étoiles nébuleuses. — Aspect pittoresque du ciel austral. — Conjectures sur la structure générale des cieux. L'amas d'étoiles dont fait partie la terre, comparé à une île jetée dans l'océan des mondes. Jaugeage du ciel. — Étoiles doubles, décrivant leur orbite autour d'un centre de gravité commun. — Différents systèmes d'attraction, p. 88-97. — Complication de notre système solaire, beaucoup plus grande qu'on ne le croyait à la fin du dernier siècle; il se compose de 15 planètes principales, en y faisant entrer Neptune, Astrée, Hébé et Iris; de 18 lunes ou satellites, et d'une myriade de comètes, parmi lesquelles plusieurs sont intérieures, c'est-à-dire ne dépassent jamais les limites du monde planétaire; enfin d'un anneau accomplissant sur lui-même un mouvement de rotation (la lumière zodiacale), et vraisemblablement d'une multitude d'astéroïdes ou pierres météoriques. — Les planètes télescopiques Vesta, Junon, Cérès, Pallas, Astrée, Hébé et Iris forment un groupe intermédiaire, dont les orbites fortement inclinées, plus excentriques et étroitement entrelacées les unes dans les autres, séparent les planètes intérieures Mercure, Vénus, la Terre et Mars, des planètes extérieures Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Contrastes entre ces régions. — Distances relatives de ces groupes de planètes au soleil. Différences dans la grandeur absolue de chacune des planètes, dans leur densité, la durée de leur rotation, l'excentricité et l'inclinaison de leurs orbites. Infractions à la prétendue loi concernant les distances des planètes au soleil. Les planètes les plus éloignées du soleil sont celles qui possèdent le plus de satellites, p. 97-105. — Rapports de position des satellites dans l'espace. Limites extrêmes de grandeur et de petitesse. Point au delà duquel les satellites ne peuvent se rapprocher de leur planète. — Mouvement inverse des satellites d'Uranus. Libration de la lune, p. 105-109. — Comètes; noyau et queue

des comètes. Configuration diverse et direction des émanations gazeuses, alternativement denses et rares, que les comètes projettent sous forme conoïdale. Queues multiples opposées au soleil. Mouvement de rotation accompli vraisemblablement par le cône lumineux et le corps de la comète. Nature de la lumière des comètes. Occultation des fixes par le noyau des comètes. Excentricité et durée des orbites. Points extrêmes d'éloignement et de proximité des comètes par rapport à l'astre central. Passage à travers le système des satellites de Jupiter. — Comètes dites à courte période, ou mieux comètes intérieures (comètes de Encke, de Biela et de Faye), p. 109-127. — Aérolithes se mouvant autour du soleil (pierres météoriques, bolides, étoiles filantes); vitesse planétaire de ces aérolithes; leur grandeur, leur forme, leur élévation; pluies périodiques d'étoiles filantes; pluies du mois de novembre et de la fête de saint Laurent. Composition chimique des pierres météoriques, p. 127-153. — Lumière zodiacale. Étendue bornée de l'atmosphère solaire actuelle, p. 153-160. — Déplacement de tout le système solaire, p. 160-163. — Universalité des lois de la gravitation en dehors même de notre système. — Voie lactée composée d'étoiles et rupture vraisemblable de cette voie. Voie lactée composée de nébuleuses, coupant la première à angle droit. — Période des étoiles doubles à deux couleurs. — Tapis d'étoiles; ouvertures dans le ciel ou régions dépourvues d'étoiles. — Événements accomplis dans les espaces célestes; apparition d'étoiles nouvelles. — Propagation de la lumière; simultanéité purement apparente des phénomènes célestes, p. 173-175.

DEUXIÈME PARTIE.

LA TERRE.

Forme de la terre, densité, température et tension électro-magnétique du globe. Recherches sur l'aplatissement et la courbure de la terre faites à l'aide des mesures de degré, des oscillations du pendule et des inégalités lunaires. — Densité moyenne de la terre. — Écorce du globe; à quelle profondeur nous est-elle connue? p. 175-193. — Propagation de la chaleur dans le globe terrestre; accroissement continu de la température depuis la surface jusqu'au centre, p. 193-200. — Magnétisme, électricité dynamique, variations périodiques du magnétisme terrestre. Perturbation dans la marche de l'aiguille aimantée. Orages magnétiques. La force magnétique manifestée à la surface de notre planète par trois classes de phénomènes : lignes d'égale force (isodynamiques), d'égale inclinaison (isocliniques), d'égale déclinaison (isogoniques). — Situation des pôles magnétiques; ils peuvent être considérés comme des pôles de froid. — Mobilité dans les phénomènes du magnétisme terrestre. — Vaste réseau d'observatoires magnétiques établis depuis 1828, p. 200-214. — Production de la lumière aux pôles magnétiques; phénomènes lumineux dus à l'activité électro-magnétique de notre planète. Hauteur des aurores boréales. L'orage

magnétique est-il toujours accompagné de bruit? — Autres exemples de lumière terrestre, p. 214-226.

Activité vitale de notre planète considérée comme la source principale des phénomènes géognostiques. Liaison entre le soulèvement des continents ou des chaînes de montagnes et l'éruption des gaz et des vapeurs, des boues chaudes, des roches ignées ou des laves en fusion qui se transforment en roches cristallisées. — La vulcanicité considérée dans sa plus grande généralité est la réaction que l'intérieur d'une planète exerce contre ses couches extérieures. Circonscription et agrandissement successif des cercles de commotion. — Les secousses volcaniques sont-elles en rapport avec les variations du magnétisme terrestre et les phénomènes atmosphériques? Bruits qui accompagnent les tremblements de terre. Tonnerre souterrain, sans ébranlement sensible. — Influence de la structure des roches sur la propagation des ondes d'ébranlement. — Soulèvements, éruptions d'eau, de vapeurs ardentes, de boue, de mofettes, de fumée et de flammes pendant les tremblements de terre, p. 226-244.

Examen plus attentif des matières produites par l'activité intérieure de notre planète, qui s'échappent du sein de la terre par les fissures et les cratères d'éruption. — Les volcans considérés comme des espèces de sources intermittentes. Température des eaux thermales, leur constance et leurs variations, p. 244-252. — Salses ou volcans de boue. De même que les volcans donnent naissance aux roches volcaniques, les sources thermales produisent, par voie de dépôt, des couches de travertin. Production continue de quartz ou roches sédimentaires, p. 252-254.

Diversité des soulèvements volcaniques. Dômes arrondis de trachyte. — Volcans proprement dits s'élevant au centre d'un cratère de soulèvement ou entre les débris dont ce cratère était originairement formé. — Communication permanente de l'intérieur du globe avec l'atmosphère. Rapports entre la hauteur des volcans et la fréquence des éruptions. Hauteur du cône de cendres. Particularités des volcans qui s'élèvent au-dessus de la limite des neiges. — Colonnes de fumée et de cendre. Orage volcanique pendant la durée de l'éruption. Composition minéralogique des laves, p. 254-272. — Distribution des volcans sur la surface de la terre; volcans centraux et chaînes volcaniques; volcans situés dans des îles ou sur des côtes. Distance des volcans aux rivages de la mer. Épuisement de la force volcanique, p. 272-281.

Rapport de la vulcanicité avec la nature des roches; formation de roches nouvelles et modification des roches préexistantes par les forces volcaniques. L'étude des volcans conduit ainsi par une double voie à la partie minéralogique de la géognosie (structure et succession des couches terrestres) et à la formation des archipels et des continents soulevés au-dessus du niveau de la mer (disposition géographique et contour des différentes parties de la terre). — Classification des roches, d'après les phénomènes de formation et de modification qui se produisent encore sous nos yeux : *roches endogènes* ou d'*éruption* (granit, syénite, porphyre, grunstein, hypersthenfels, euphotide, mélaphyre, basalte et phonolithe);

roches de sédiment (schiste argileux, lits de charbon de terre, calcaires, travertin, bancs d'infusoires); *roches transformées* ou *métamorphiques*, contenant, avec des débris de roches d'éruption ou de sédiment, des débris de gneiss, de micaschiste et d'autres masses métamorphiques plus anciennes; *conglomérats* et *grès* (roches détritiques), p. 281-294. — Phénomènes de contact éclaircis par la formation artificielle des minéraux. Effets de la pression et du refroidissement plus ou moins rapide. Formation du calcaire granulaire ou marbre saccharoïde, transformation du schiste en jaspe rubané par la silification; la marne calcaire changée par le granit en micaschiste; conversion du calcaire en dolomie, formation des grenats dans le schiste argileux en contact avec le basalte ou la dolérite. — Filons poussés de bas en haut. Phénomènes de la cimentation dans la formation des conglomérats. Conglomérats produits par le frottement, p. 295-310. — Age relatif des roches ou chronologie du globe. Couches fossilifères. — Age relatif des différents organismes. — Gradation physiologique des espèces suivant la superposition des terrains. — Horizon géologique d'après lequel on peut arriver à des conclusions certaines sur l'identité ou l'ancienneté relative des formations, sur la répétition de certaines couches, sur leur parallélisme ou leur suppression complète. — Type de couches sédimentaires considérées dans leurs traits les plus généraux et les plus simples; couches siluriennes et dévoniennes, nommées autrefois terrains de transition. Trias inférieur (calcaire de montagne), terrain houiller, nouveau grès rouge inférieur et calcaire magnésien; trias supérieur (grès bigarré, calcaire coquillier et keuper); calcaire jurassique (lias et oolithe); grès massif (craie inférieure et supérieure, ainsi que les dernières couches qui commencent au calcaire de montagne); formation tertiaire comprenant trois subdivisions caractérisées par le calcaire grossier, le charbon brun et les graviers subapennins. — Faunes et flores des temps primitifs; leurs rapports avec les espèces actuellement vivantes. Ossements gigantesques des mammifères de l'ancien monde dans les terrains de transport. — Règne végétal des anciens temps. Terrains dans lesquels certains groupes de plantes atteignent leur maximum de développement (les cicadées dans le keuper et dans le lias, les conifères dans les grès bigarrés). Lignites ou couches de charbon brun. — Gisement et blocs erratiques. Doutes sur l'origine de ces masses, p. 310-331.

La détermination des *époques géologiques* amène à étudier la répartition des *masses solides et liquides* et la configuration de la surface terrestre. Rapport d'étendue entre l'élément liquide et l'élément solide. La hauteur des continents due à l'éruption du porphyre quartzeux. — Configuration particulière de chaque grande masse dans le sens *horizontal* (forme articulée des continents), et dans le sens *vertical* (hypsométrie des chaînes de montagnes). — Influence de l'étendue relative de la mer et de la terre ferme sur la température, la direction des vents, l'abondance ou la rareté des productions organiques et l'ensemble de tous les phénomènes météorologiques. — Direction des grands axes dans l'ancien et dans le nouveau continent. Articulation des côtes. Forme pyramidale des extrémités méri-

dionales. Vallée de l'Océan atlantique. Formes analogues en différentes contrées, p. 331-343. — Chaînes de montagnes discontinues. Systèmes de chaînes de montagnes et moyen d'évaluer leur âge relatif. Tentative pour déterminer le centre de gravité des contrées élevées aujourd'hui au-dessus du niveau de la mer. Progrès lent que fait encore de nos jours le soulèvement des masses continentales; compensation apportée sur certains points à ce progrès par des abaissements considérables. Alternatives périodiques d'activité et de repos révélées par tous les phénomènes géognostiques. Il est vraisemblable que des rides nouvelles se produiront encore à la surface de la terre, p. 343-354.

Enveloppe liquide et enveloppe gazeuse de notre planète, contrastes et analogies de ces deux enveloppes (la mer et l'atmosphère) par rapport à l'élasticité et au mode d'agrégation de leurs molécules, aux courants, et à la propagation de la chaleur. Profondeur de la mer et de l'océan aérien dont les plateaux et les chaînes de montagnes sont les bas-fonds. — Température de la mer à la surface et dans les couches inférieures, sous différentes latitudes. Tendance de la mer à conserver la chaleur de sa surface dans les couches les plus voisines de l'air en raison de la mobilité de ses molécules et des variations de densité. Maximum de densité de l'eau salée. Zones où les eaux atteignent le maximum de chaleur et de salure. Influence thermique des courants polaires inférieurs et des contre-courants qui existent dans les détroits, p. 354-357. — Niveau général des mers, et perturbations permanentes causées dans cet équilibre par des influences locales; perturbations périodiques, telles que le flux et le reflux. — Courants pélagiques, courant équatorial ou courant de rotation. Courant d'eaux chaudes dans l'Océan atlantique (Gulfstream); courant d'eaux froides dans la partie orientale de l'océan Pacifique. — Température des bas-fonds. Vie et mouvement universellement répandus dans l'océan; influence des forêts sous-marines, formées par les longues herbes qui croissent sur les bas-fonds, ou par des bancs flottants de fucus, p. 357-367.

Enveloppe gazeuse de notre planète (océan aérien). — Composition chimique de l'atmosphère, diaphanéité, polarisation, pression, température, humidité et tension électrique. — Rapports de l'oxygène et de l'azote; acide carbonique; gaz hydrogène; vapeurs ammoniacales; miasmes. — Variations régulières ou horaires de la pression atmosphérique, hauteur moyenne du baromètre à la surface de la mer, dans les différentes zones du globe. Courbes isobarométriques. — Roses barométriques des vents. Loi de rotation des vents et importance de cette loi pour la connaissance d'un grand nombre de phénomènes météorologiques. Brises de terre et de mer; vents alisés et moussons, p. 367-376. — Distribution de la chaleur atmosphérique dans ses rapports avec la disposition relative des masses transparentes ou opaques, de la terre ferme et des eaux de la mer, et avec la configuration hypsométrique des continents. — Flexion des lignes isothermes parallèlement ou perpendiculairement à l'équateur. Sommet convexe et concave des lignes isothermes. — Chaleur moyenne des années, des saisons, des mois, des jours. Énumération des causes qui modifient la

direction des lignes isothermes. — Lignes isochimènes et isothères (c'est-à-dire d'égales températures d'hiver et d'été). — Causes qui tendent à élever la température et causes qui tendent à l'abaisser. Rayonnement émanant du sol ; — la forme des nuages annonce ce qui se passe dans les hautes régions de l'atmosphère et dessine sur le ciel d'une chaude journée d'été l'image projetée du sol d'où rayonne le calorique. Contraste entre le climat des îles ou celui des côtes, dont jouissent les continents richement articulés, découpés par des golfes et divisés en presqu'îles, et le climat intérieur des grandes masses de terre. Côtes orientales et occidentales. Différence entre l'hémisphère du nord et celui du midi. — Échelle thermique des différents genres de culture depuis la vanille, le cacao, le pisang, jusqu'au citronnier, à l'olivier et à la vigne dont le vin est potable. La maturité des fruits expliquée en grande partie par la différence entre la lumière diffuse et la lumière directe, entre un ciel serein et un ciel couvert de nuages. — Tableau général des causes qui procurent à la majeure partie de l'Europe un climat plus doux qu'à la presqu'île occidentale de l'Asie, p. 376-392. — A quelle fraction de la chaleur thermométrique moyenne de l'année ou de l'été répond une variation de 1° en latitude? Rapport entre la moyenne température d'une station, sur une montagne, et la distance au pôle d'un point situé au niveau de la mer.— Diminution de la chaleur à mesure que la hauteur augmente. Limite des neiges éternelles et oscillation de cette limite. Causes de perturbation dans la régularité de ce phénomène ; chaînes septentrionale et méridionale de l'Himalaya, p. 392-398. — Vapeurs atmosphériques variables suivant les heures, les saisons, les degrés de latitude et l'élévation des eaux. Extrême sécheresse observée dans l'Asie septentrionale entre les bassins de l'Irtysch et de l'Obi. — Rosée produite par le rayonnement. Quantité de pluie annuelle, p. 398-411. — Électricité de l'atmosphère et perturbation dans l'équilibre des forces électriques. Distribution géographique des orages. Prévision des changements atmosphériques; les perturbations climatologiques les plus importantes ne doivent pas être rapportées à une cause locale existant au lieu même de l'observation; elles sont l'effet d'un événement qui, dans des régions lointaines, a troublé l'équilibre des courants aériens, p. 401-408.

TROISIÈME PARTIE.

VIE ORGANIQUE.

La description physique de la terre ne se borne pas à la vie élémentaire et inorganique du globe; elle embrasse la sphère de la vie organique et les phases innombrables de son développement.—Vie animale et végétale. Activité vitale de la nature dans la mer et sur la terre ; vie microscopique dans les glaces des contrées polaires et dans les profondeurs de l'océan, sous les tropiques. Agrandissement de l'horizon de la vie dû aux

découvertes d'Ehremberg. — Évaluation de la masse des animaux et de celle des végétaux, p. 408-414. — Géographie des plantes et des animaux. Migration des plantes en germe, à l'aide d'organes qui les rendent propres à voyager dans l'atmosphère. Cercle de migration, eu égard aux rapports climatologiques. Plantes et animaux vivant en société ou dans l'isolement. Le caractère des flores ou des faunes dépend moins de la supériorité numérique de certaines espèces, sous des latitudes déterminées, que de la coexistence d'un grand nombre de familles et de la quantité relative de leurs espèces, p. 408-422. — La race humaine considérée dans ses nuances physiques et dans la distribution géographique de ses types contemporains. Races et variétés. Unité de la race humaine. — Les langues, créations intellectuelles de l'humanité et parties intégrantes de l'histoire naturelle de l'esprit, portent une empreinte nationale; mais par suite d'événements divers, on retrouve chez des peuples d'origine très-différente des idiomes appartenant à la même famille, p. 422-432.

TOME II.

PREMIÈRE PARTIE.

REFLET DU MONDE EXTÉRIEUR DANS L'IMAGINATION DE L'HOMME. LITTÉRATURE DESCRIPTIVE.

I. Moyens propres a répandre l'étude de la nature. — Dans le premier volume l'auteur a exposé, sous la forme d'un tableau de la nature, les principaux résultats de l'observation scientifique; il se propose de considérer ici le reflet de ce spectacle dans le sentiment et dans l'imagination de l'homme. — Du sentiment de la nature chez les Grecs et chez les Romains; ils ont rarement exprimé ce sentiment, sans y être pour cela étrangers. La poésie descriptive ne pouvait être qu'un accessoire dans les grandes formes de l'ode et de l'épopée. L'art, chez les Grecs, se meut toujours dans le cercle de l'humanité. — Hymnes au printemps; Homère, Hésiode; les tragiques; poésie bucolique; Nonnus; Anthologie. Caractère propre au paysage grec, p. 1-15. — Poëtes latins : Lucrèce, Virgile, Ovide, Lucain, Lucilius junior. Époque postérieure, dans laquelle la poésie n'est plus qu'un ornement d'emprunt pour la pensée, la *Moselle* d'Ausone. Prosateurs latins : Cicéron, Tacite, Pline. Descriptions de villas romaines, p. 15-26. — Changement amené dans la nature et dans l'expression des sentiments par le christianisme et la vie du désert. *Octavius* de Minucius Félix, passages des Pères de l'Église. Saint Basile dans les solitudes de l'Arménie, Grégoire de Nysse, Chrysostome; disposition générale à la mélancolie, p. 26-32. — Contraste produit par la diversité des races dans la couleur poétique des descriptions chez les Grecs, les races italiennes, les Germains du nord, les peuples sémitiques, les Persans et les Hindous. La poésie si riche de ces races orientales montre que, chez les Germains du nord, le sentiment de la nature n'a pas pour cause unique

la privation des jouissances de la nature, pendant la durée d'un long hiver. — Poésie chevaleresque des Minnesinger. Épopée Ésopique des Allemands, d'après Jacob et Guillaume Grimm. Poésies celtiques et erses, p. 32-41.—Peuples de l'Asie orientale et occidentale (Hindous et Persans); le *Ramayana*, et le *Mahabahrata, Sacountala* et le *Nuage Messager* de Kalidasa. Littérature persane; cette littérature ne remonte pas au delà des Sassanides, p. 41-47. — Épopée et poésies finnoises recueillies de la bouche des Karéliens, p. 47-48. — Nations araméennes; poésie de la nature chez les Hébreux; reflet du monothéisme, p. 47-54. — Ancienne littérature des Arabes. Description de la vie des Bedouins au désert, dans Antar; Amrou'l-Kais, p. 48-55.—Renaissance des lettres en Italie. Dante Alighieri, Pétrarque, Bojardo et Vittoria Colonna.—Dialogue de l'Etna de Bembo et description pittoresque de la vie végétale dans le nouveau monde (Historiæ Venetæ). Christophe Colomb, p. 54-64. — Les *Lusiades* de Camoëns, p. 61-68.—Poésie espagnole : l'*Araucana* de don Alonso de Ercilla; fray Luis de Léon et Caldéron, d'après Louis Tieck.—Shakspeare, Milton, Thomson, p. 68-71.—Prosateurs français : —Rousseau, Buffon, Bernardin de Saint-Pierre et Chateaubriand, p. 68-76. Regard en arrière sur les voyageurs du moyen âge, Jean Mandeville, Hans Schiltberger et Bernard de Breitenbach. Contraste avec les voyageurs modernes. George Forster, compagnon de Cook, p. 79-81. — Objet légitime de la poésie descriptive. Attrait répandu sur toutes les contrées de la terre, depuis l'équateur jusqu'aux zones glaciales, p. 81-84.

II. De la peinture de paysage considérée comme un moyen de propager l'étude de la nature.—Dans l'antiquité classique, la peinture de paysage ne pouvait pas être, non plus que la poésie descriptive, une branche de l'art distincte. Philostrate l'Ancien. Scénographie ; Ludius. — Traces de la peinture de paysage chez les Hindous, à l'époque brillante de Vikramaditya.—Herculanum et Pompéi.—Peinture chrétienne depuis Constantin le Grand jusqu'aux commencements du moyen âge. Miniatures des manuscrits, p. 85-89.—Place donnée au paysage dans les tableaux historiques des frères Van Eyck. Le XVIIe siècle considéré comme l'époque la plus brillante de la peinture de paysage (Claude Lorrain, Ruysdaël, Gaspard et Nicolas Poussin, Everdingen, Hobbema et Cuyp).—Effort pour reproduire avec vérité les formes végétales; on s'attache à imiter la végétation tropicale. François Post, compagnon du prince Maurice de Nassau; Eckhout. Besoin d'individualiser la nature.—L'affranchissement des colonies espagnoles et portugaises en Amérique, le progrès de la culture dans les Indes, la Nouvelle-Hollande, les îles Sandwich et l'Afrique méridionale, doivent donner un jour une impulsion nouvelle et un caractère plus grandiose, non-seulement à la météorologie et à la description de la nature en général, mais aussi à la peinture de paysage et à l'expression graphique de la physionomie de la nature. — Utilité des panoramas circulaires de Parker.—Le sentiment de l'unité du Cosmos doit acquérir d'autant plus de force qu'on multipliera davantage les moyens de reproduire, sous des images saisissantes, les phénomènes de la nature, p. 89-107.

III. Culture des plantes exotiques. — Impression produite par la physionomie des végétaux, autant que des plantations artificielles peuvent donner une idée de cette physionomie. — Jardins pittoresques. — Premiers parcs plantés dans les contrées centrales et méridionales de l'Asie; arbres et bosquets consacrés aux dieux, p. 108-114.—Des jardins chez les peuples de l'Asie orientale. Jardins chinois sous la dynastie des Han. *Poëme des Jardins*, composé par See-ma-Kouang à la fin du xie siècle. Prescriptions de Lieou-tscheou. Poëme descriptif de l'empereur Kien-long. — Influence des monastères bouddhistes sur la propagation des plus belles formes végétales, p. 114-118.

DEUXIÈME PARTIE.

ESSAI HISTORIQUE SUR LE DÉVELOPPEMENT PROGRESSIF DE L'IDÉE DE L'UNIVERS.

Différence entre la connaissance générale de la nature et l'histoire des sciences naturelles. L'histoire de la description du monde est l'histoire de l'idée de l'unité appliquée aux phénomènes et aux forces simultanées de l'univers. — Méthode d'exposition appropriée à l'histoire du Cosmos : 1° effort de la raison pour découvrir les lois de la nature ; 2° événements qui ont subitement élargi le champ de l'observation ; 3° découverte d'instruments nouveaux propres à faciliter la perception sensible. — Impulsion donnée par le progrès des langues; rayonnement de la civilisation. Ce qu'il faut croire d'une physique primitive et de cette sagesse naturelle des peuples sauvages que la civilisation aurait obscurcie, p. 121-139.

PHASES PRINCIPALES A SIGNALER DANS L'HISTOIRE DE LA CONTEMPLATION PHYSIQUE DU MONDE.

I. Le bassin de la Méditerranée considéré comme point de départ des efforts faits pour agrandir l'idée du Cosmos. — Configuration et divisions de ce bassin. Importance du golfe Arabique. Croisement des deux grandes lignes de soulèvement (du nord-est au sud-ouest et du sud-sud-est au nord-nord-ouest). Influence de ce dernier système de crevasses sur le commerce du monde. — Antique civilisation des peuples répandus sur les côtes de la Méditerranée. — Vallée du Nil; ancien et nouvel empire des Égyptiens. — Les Phéniciens, préparés par la nature au rôle d'intermédiaires, répandent l'écriture et l'usage des monnaies, ainsi que les poids et mesures d'origine babylonienne. Numération, arithmétique, navigation nocturne. Colonies établies sur la côte occidentale de l'Afrique, p. 146-158. — Expédition de Salomon et d'Hiram vers les pays aurifères d'Ophir et de Supara, p. 158-161. — Tyrrhéniens et Étrusques (Rasènes); dispositions particulières de la race étrusque à entrer en commerce avec la nature; fulgurateurs et aquiléges, p. 161-163. — Autres peuples situés sur les bords de la Méditerranée, et dont la culture remonte à une haute

antiquité. Traces de civilisation à l'est, chez les Phrygiens et les Lyciens; à l'ouest, chez les Turdules et les Turdétans. — Commencements de la puissance hellénique; l'Asie Mineure considérée comme la grande route militaire des émigrations de l'orient à l'occident. L'archipel de la mer Égée, lien entre le monde grec et les contrées lointaines de l'Orient. Vastes landes dans lesquelles se confondent les limites de l'Europe et de l'Asie, au delà du 48e degré de latitude. Hérodote et Phérécyde de Syros regardent le nord de l'Asie, qui forme la Scythie, comme une dépendance de la Sarmatie d'Europe. — Caractères des races ionienne et dorienne transportées dans les colonies où se sont établis ces peuples. — Tentatives pour pénétrer à l'est vers le Pont et la Colchide; première notion de la côte occidentale de la mer Caspienne, confondue jusque-là avec l'océan qui entoure le monde à l'est. Commerce d'échange avec les Argypéens, les Issédons et les Arimaspes à travers la chaîne des Scythes scolotes. Mythe météorologique des hyperboréens. — Ouverture de la porte de Gadeira. Navigation de Colæus de Samos. Aspiration incessante vers l'inconnu et l'infini. Connaissance exacte du flux périodique de la mer, p. 161-178.

II. Expédition des Macédoniens sous Alexandre le Grand et influence de l'empire de Bactriane. — Riche moisson de vues nouvelles sur la nature; rien de semblable ne s'était produit à aucune autre époque, si l'on excepte la découverte de l'Amérique tropicale. — Aristote facilite la mise en œuvre de ces matériaux par la direction qu'il imprime aux recherches de la philosophie spéculative, et la précision qu'il donne au langage. — Caractère scientifique de l'expédition macédonienne. Callisthène d'Olynthe, disciple d'Aristote et ami de Théophraste. — Accroissements considérables apportés à la science des corps célestes par les relations établies avec Babylone et la connaissance des observations dues à la caste sacerdotale de la Chaldée, p. 178-198.

III. Agrandissement de l'idée du monde sous les Ptolémées. — Unité politique de l'Égypte sous la domination des Grecs. Avantages résultant pour cette contrée de sa situation géographique. — Infériorité, sous ce double rapport, de l'empire des Séleucides, formé par l'agrégation de nationalités différentes. Les fleuves et les routes des caravanes, unique débouché ouvert au commerce dans ce pays. — Connaissance des moussons. Rétablissement du canal qui joint le Nil à la mer Rouge. — Instituts scientifiques placés sous la protection des Lagides. Musée d'Alexandrie. Bibliothèque du Bruchium et de Rhakotis. Direction des études; à côté de l'application qui recueille les matériaux se manifeste une heureuse tendance à généraliser les aperçus. — Eratosthène de Cyrène. Première mesure du degré faite par un Grec, entre Syène et Alexandrie, d'après les données incomplètes des bématistes. Progrès simultanés de la science dans les mathématiques pures, la mécanique et l'astronomie. Aristyle et Timocharès. Idées d'Aristarque de Samos et de Séleucus de Babylone ou d'Erythres sur la structure du monde. Hipparque, créateur de l'astrono-

mie scientifique et le plus grand astronome observateur de toute l'antiquité. Euclide, Apollonius de Perge et Archimède, p. 199-213.

IV. Influence de la domination romaine. — Services rendus à la science du Cosmos par un vaste assemblage d'États. Si, d'une part, la variété du sol et des productions organiques, qui frappent les regards dans les expéditions lointaines, dut donner une impulsion nouvelle à l'étude de la nature; d'un autre côté, l'esprit de la nationalité romaine étouffa l'activité particulière à chaque peuple, et en même temps disparurent la publicité et le principe de l'individualité, les deux plus fermes soutiens des États libres. — Dioscoride de Cilicie et Galien de Pergame seuls observateurs de la nature dans cette période. Claude Ptolémée, fondateur de l'optique expérimentale. — Avantages matériels de l'extension donnée au commerce par terre avec le centre de l'Asie, et de la navigation de Myos Hormos vers l'Inde. — Sous Vespasien et Domitien, une armée chinoise s'avance jusqu'aux côtes orientales de la mer Caspienne. Migrations des peuples dirigés en Orient de l'est à l'ouest, et dans le nouveau continent du nord au sud. Les migrations des peuples asiatiques commencent avec l'irruption d'une race turque, des Hioungnou, qui se jettent sur les Youeti, et les Ousuns, près de la muraille de la Chine, un siècle et demi avant notre ère. — Ambassade envoyée à l'empereur Claude par le Rajah de Ceylan. Ambassadeur romain député par Marc-Aurèle à la cour de Chine. Les grands mathématiciens hindous Warahamihira, Brahmagoupta et peut-être même Aryabhatta sont postérieurs à cette époque; mais les découvertes faites antérieurement dans l'Inde, à la suite de recherches isolées, avaient pu pénétrer en partie dans l'Occident, avant Diophante, grâce à l'extension du commerce sous les Lagides et les Césars. — On peut juger de ces relations commerciales par les grands ouvrages géographiques de Strabon et de Ptolémée. Importance historique de la nomenclature de Ptolémée reconnue dans les temps modernes. — Essai d'une description de la nature par Pline. Caractère de cette encyclopédie de l'art et de la nature. — Unité de la race humaine proclamée par le christianisme, p. 214-243.

V. Invasions des Arabes. — Influence d'un élément étranger mêlé au développement de la civilisation européenne. — Les Arabes, race sémitique douée d'une vive imagination, dissipent la barbarie en conservant l'ancienne civilisation et en ouvrant des voies nouvelles à l'étude de la nature. — Configuration de la presqu'île Arabique; productions de l'Hadharamaut, de l'Yémen et de l'Oman; chaînes de montagnes de Djebel, d'Akhbar et d'Asyr. Gerrha, ancien entrepôt des marchandises indiennes, placé vis-à-vis des établissements phéniciens d'Arados et de Tylos. — Relations actives entre l'Arabie, particulièrement dans la partie septentrionale, et d'autres contrées civilisées. — Première culture des Arabes; ils commencent à s'immiscer dans le commerce du monde; expéditions à l'ouest et à l'est. Les Hycsos; le prince des Himyarites, Ariæns, allié de Ninus. — Caractère particulier de la vie nomade chez les Arabes, p. 244-256. — In-

fluence des Nestoriens, des Syriens et de l'école médico-pharmaceutique d'Édesse. — Les Arabes fondateurs des sciences physiques et chimiques. Pharmacologie. — Instituts scientifiques, à l'époque brillante d'Al-Mansour, d'Haroun-al-Raschid, de Mamoun et de Motasem. Emprunts faits par les Arabes à l'Inde et à l'Égypte. Jardin botanique fondé auprès de Cordoue sous le kalife Abdourrhaman, p. 256-267. — Observations astronomiques et perfectionnement apporté aux instruments. Application du pendule à la mesure du temps par Ebn Jounis. Travaux d'Alhazen sur la réfraction. Tables planétaires des Hindous. Perturbation dans la longitude de la lune, reconnue par Aboul-Wefa. Congrès astronomique à Tolède. Observatoires de Meragha. Mesure du degré dans la plaine qui s'étend entre Tadmor et Rakka. — Les Arabes redevables à la fois de leur science algébrique aux Hindous et aux Grecs. Mohamed Ben-Musa, de Chowarezm. Diophante traduit pour la première fois en arabe, au commencement du x[e] siècle, par Aboul-Wefa Bousjani. — Les chiffres indiens et le système de *position* parviennent à la connaissance des Arabes par les mêmes voies que l'algèbre. Les Arabes transportent ces inventions dans l'Afrique septentrionale. Vraisemblance de l'opinion d'après laquelle les chrétiens de l'Occident auraient connu avant les Arabes les neuf chiffres et leur valeur relative, sous le nom de système de l'*Abacus*. — Que fût-il résulté pour la civilisation, si la domination des Arabes se fût indéfiniment prolongée? p. 267-278.

VI. Époque des grandes découvertes dans l'Océan. — Causes qui ont préparé ces découvertes. — Nécessité de distinguer la première découverte des zones septentrionales et tempérées de l'Amérique, par Leif, fils d'Erik le Rouge, et la seconde découverte de l'Amérique tropicale à la fin du xv[e] siècle. Les îles Fœroër et l'Islande, découvertes accidentellement par Naddod, sont les stations et les points de départ des expéditions vers la Scandinavie américaine. On visite les côtes orientales du Groënland dans le pays de Scoresby, celles de la baie de Baffin jusqu'à 72°55', l'entrée du détroit de Lancastre et du détroit de Barrow. — Découvertes, antérieures peut-être, des Ires. Les pays des Hommes-Blancs entre la Virginie et la Floride. L'Islande, avant la colonisation de Naddod et d'Ingolf, a-t-elle été peuplée par des Ires (les hommes de l'ouest de la Grande Irlande américaine) ou par des missionnaires irlandais (papar, les clerici de Dicuil) que les Normands avaient chassés des îles Fœroër? — Les anciennes légendes de l'Europe septentrionale, menacées d'être étouffées sur le sol où elles ont pris naissance, sont transportées en Islande. Traces des relations commerciales entre le Groënland et la Nouvelle-Écosse jusqu'en 1347. Le Groënland perd en 1261 sa constitution libre, et, comme propriété de la couronne de Norwége, se voit interdire toute communication avec les étrangers, même avec les Islandais. Ainsi s'explique comment Colomb, dans un voyage en Islande (février 1477), ne recueillit aucun renseignement sur un nouveau continent situé à l'ouest. Continuation des relations commerciales entre le port de Bergen et le Groënland jusqu'en 1484, p. 279-291. — Conséquences bien différentes de la seconde découverte de

l'Amérique par Christophe Colomb. Ce navigateur cependant n'eut d'autre pensée que de chercher un chemin plus court vers l'Asie orientale, et crut jusqu'à sa mort, ainsi qu'Amerigo Vespucci, avoir abordé aux côtes orientales de ce continent. — Nécessité, pour comprendre l'influence exercée aux xve et xvie siècles sur le progrès des idées par les découvertes maritimes, de jeter un regard sur le temps qui sépare l'époque de Colomb de celle où florissaient les Arabes. — Causes qui ont contribué à marquer l'ère de Colomb d'un caractère particulier; apparition d'un petit nombre de libres penseurs (Albert le Grand, Roger Bacon, Duns Scott, Guillaume d'Occam); retour aux monuments de la littérature grecque; invention de l'imprimerie; moines envoyés en ambassade auprès des princes mongols; voyages accomplis dans des vues commerciales vers l'Asie orientale et les Indes méridionales (Marco Polo, Mandeville, Nicolo de'Conti); progrès de l'art nautique; usage de la boussole ou des propriétés de l'aimant emprunté aux Chinois par l'intermediaire des Arabes, p. 291-311. — Voyages entrepris de bonne heure par les Catalans vers les côtes occidentales de l'Afrique tropicale; découverte des Açores; mappemonde de Picigano de l'année 1367. Rapports de Colomb avec Toscanelli et Martin-Alonzo Pinzon. Carte, récemment signalée, de Juan de la Cosa. — Mer du Sud, p. 311-334. — Découverte de la ligne magnetique sans déclinaison dans l'océan Atlantique. Observations sur la flexion des bandes isothermes à 100 milles vers l'ouest des Açores. Ligne de démarcation fixée par le pape Alexandre VI, le 4 mai 1493; division naturelle changée en une division politique. — Connaissance de la distribution de la chaleur; la limite des neiges éternelles est reconnue comme une fonction de la latitude géographique. Mouvement des eaux dans la vallée de l'océan Atlantique. Prairies océaniques de varechs, p. 334-347. — Agrandissement de l'horizon du monde; constellations du ciel austral; connaissance plus contemplative que scientifique des espaces célestes. — Efforts nouveaux pour perfectionner les méthodes pratiques propres à déterminer la longitude, en vue de fixer la ligne de démarcation papale. — La découverte et la première colonisation de l'Amérique, ainsi que le voyage aux Indes orientales par le cap de Bonne-Espérance, concourent, avec l'épanouissement de l'art et la réforme religieuse qui commence, à l'affranchissement de l'esprit humain et préparent les grandes révolutions politiques. La hardiesse de Colomb est le premier anneau dans la chaîne sans fin de ces mystérieux événements. C'est le hasard, ce n'est pas la fraude qui a enlevé le nom de Colomb au continent découvert par lui, et y a substitué celui d'Amerigo. Influence du nouveau monde sur les institutions politiques, sur les idées et les tendances des peuples de l'ancien continent, p. 347-362.

VII. Époques des grandes découvertes dans les espaces célestes par l'application du télescope. — Aperçus sur la structure du monde qui ont préparé ces découvertes. — Observations faites par Nicolas Copernic à Cracovie concurremment avec l'astronome Brudzewski, dès le temps où Colomb découvrait l'Amérique. Le xviie siècle rattaché au xvie par Peur-

bach et Regiomontanus. Le système de Copernic présenté par lui non comme une hypothèse, mais comme une vérité inébranlable, p. 363-378. — Kepler et ses lois expérimentales sur le cours des planètes, p. 378-380 et 388-392. — Invention du télescope; Hans Lippershey, Jacob Adriaansz (Metius), Zacharias Jansen. Premiers résultats de la vue par le télescope : montagnes de la lune; amas d'étoiles; voie lactée; les quatre satellites de Jupiter, prétendue triplicité de Saturne; croissant de Vénus; taches du soleil et durée de sa rotation. — Importance du *petit monde* de Jupiter (mundus Jovialis). Les lunes de Jupiter donnent l'occasion de reconnaître la vitesse de la lumière, et par suite d'expliquer l'ellipse d'aberration des étoiles fixes, d'où ressort la démonstration matérielle du mouvement de translation de la terre. — Aux découvertes de Galilée, de Simon Marius et de Fabricius succèdent celles des satellites de Saturne par Huygens et Cassini; de la lumière zodiacale, considérée comme un anneau nébuleux tournant isolément autour du soleil, par Childrey; de la lumière changeante des fixes, par David Fabricius, Jean Bayer et Holwarda. Nébuleuse sans étoiles d'Andromède, p. 380-396. — Les observations physiques sur les phénomènes de la lumière, de la chaleur et du magnétisme concourent aussi, avec les grandes découvertes de Galilée et de Kepler, de Newton et de Leibnitz, à jeter un éclat plus vif sur le XVIIe siècle. Double réfraction et polarisation; traces de la connaissance des interférences chez Grimaldi et chez Hooke. William Gilbert distingue le magnétisme de l'électricité. Connaissance du déplacement périodique des lignes sans déclinaison. Conjecture de Halley que la lumière polaire est un effet magnétique. Thermoscope de Galilée, et application de cet instrument à une série d'observations journalières, dans des stations de hauteur différente. Recherches sur la chaleur rayonnante. Tube de Toricelli et mesures de hauteur d'après l'élévation du mercure. Connaissance des courants aériens et de l'influence qu'exerce sur eux la rotation de la terre. Loi de rotation des vents soupçonnée par Bacon. Heureuse, mais courte influence de l'Academia del Cimento sur la connaissance expérimentale et mathématique de la nature. — Tentatives pour mesurer l'humidité atmosphérique; hygromètre condensateur. — Phénomènes électriques; électricité terrestre; Otto de Guérike voit la première lueur dans une détonation électrique provoquée par lui-même. — Commencements de la chimie pneumatique; accroissement de poids observé dans l'oxydation des métaux; Jer. Cardan et Jean Rey, Hooke et Mayow. Hypothèses de particules salpétriques (spiritus nitro-aëreus) existant dans l'air et nécessaires au phénomène de la combustion et à la respiration des animaux. — Influence exercée par les progrès de la physique et de la chimie sur le développement de la géographie (Nicolas Stenson, Scilla, Lister); soulèvement du lit et des rivages de la mer. La fluidité première et la solidification de notre planète reflétées dans la forme mathématique de la terre. Mesures de degrés et expériences sur le pendule, par des latitudes différentes. Aplatissement polaire. La forme de la terre, reconnue théoriquement par Newton, amène la découverte de la force dont les lois de Kepler sont une conséquence nécessaire.

La découverte de la gravitation, développée par Newton dans le livre des *Principes*, coïncide presque avec l'essor donné aux recherches mathématiques par le calcul infinitésimal, p. 396-427.

VIII. Diversité et enchaînements des efforts scientifiques tentés de nos jours. — Coup d'œil rétrospectif sur la suite des périodes parcourues. — La compréhension de la science moderne rend difficile de distinguer et de limiter chaque science en particulier. — L'intelligence accomplit désormais de grandes œuvres, en vertu de sa propre force et sans excitation extérieure. L'histoire des sciences physiques se confond peu à peu avec l'histoire du Cosmos, p. 428-435.

TOME III.

PREMIÈRE PARTIE.

INTRODUCTION.

Coup d'œil jeté en arrière sur les matières contenues dans les précédents volumes. — La nature considérée sous deux points de vue différents : sous son aspect extérieur et purement objectif, et dans son image reflétée à l'intérieur de l'homme. — Comment une disposition intelligente des phénomènes permet déjà d'en saisir le lien générateur. — Impossibilité de faire entrer dans un ouvrage de ce genre une énumération complète des phénomènes particuliers. — Monde idéal et intérieur, existant à côté du monde réel, et peuplé de mythes symboliques, qui troublent la perception claire de la nature. — Impossibilité absolue d'arriver jamais à une connaissance complète de tous les phénomènes cosmiques. Découvertes des lois empiriques; recherches des causes qui relient entre eux tous les phénomènes; description et explication du monde. Comment l'observation des choses existantes peut révéler en partie la loi de leur formation et de leur développement. — Différentes phases de l'explication du monde. Efforts tentés pour comprendre l'ordonnance de la nature. — Premiers principes appliqués par la race hellénique à la contemplation du monde. Fantaisies physiologiques de l'École ionienne; double direction de cette École : hypothèse des principes concrets et matériels; hypothèse de la raréfaction et de la condensation. Force centrifuge. Théorie des tourbillons. — Pythagoriciens; philosophie de la mesure et de l'harmonie; première application des mathématiques aux phénomènes physiques. — Ordonnance et gouvernement du monde, d'après les principes physiques d'Aristote. L'impulsion considérée comme le fondement de tous les phénomènes. Aristote peu préoccupé de la diversité des substances. — La théorie aristotélique reproduite au moyen âge dans sa forme et dans ses idées fondamentales. Roger Bacon; le *Miroir de la nature* de Vincent de Beauvais; le *Liber cosmographicus* d'Albert le Grand, l'*Imago Mundi* du cardinal Pierre d'Ailly. — Progrès accompli par Jordano-Bruno et par Telesio. — La gravitation ou l'attraction des masses clairement exposée par Copernic. — Première application des mathématiques à la théorie de la gravi-

tation dans les écrits de Kepler. — *Cosmos* ou Traité du Monde, de Descartes; cette grande entreprise n'aboutit qu'à la publication de quelques fragments, longtemps après sa mort. Le *Cosmotheoros* de Huygens, indigne du grand nom de son auteur. — Newton et les *Philosophiæ naturalis Principia mathematica*. — Effort fait pour embrasser l'ensemble du monde. Peut-on bien fonder une science universelle de la nature, et tout ramener à un seul principe, depuis les lois de la pesanteur jusqu'à la force créatrice qui préside aux phénomènes de l'organisme et de la vie? Impossibilité d'épuiser par la perception le champ des phénomènes perceptibles. L'insuffisance de nos connaissances expérimentales ne permet pas d'expliquer par les forces de la matière les variations qu'elle subit, et réduit cette question à l'état de problème indéterminé, p. 1-27.

PARTIE URANOLOGIQUE DE LA DESCRIPTION PHYSIQUE DU MONDE.

RÉSULTATS DE L'OBSERVATION, généralités, p. 28-29.

ASTRONOMIE SIDÉRALE, généralités, p. 29-32.

I. ESPACES CÉLESTES. Conjectures sur la matière qui paraît remplir ces espaces, p. 33-48. — Des parties isolées de l'espace sont seules susceptibles d'être mesurées, p. 34. — Milieu résistant, matière cosmique, éther universel, p. 36 et 275. — Rayonnement calorifique des étoiles, p. 41. — Température de l'espace, 41-44. — Transparence imparfaite de l'espace, p. 45. — Diminution régulière dans la durée de la révolution décrite par la comète d'Encke, p. 46. Limites de l'atmosphère, p. 48.

II. VISION NATURELLE ET TÉLESCOPIQUE. — SCINTILLATION DES ÉTOILES. — VITESSE DE LA LUMIÈRE. — RÉSULTATS DES MESURES PHOTOMÉTRIQUES, p. 49-111. — La lumière, de quelque source qu'elle émane, obéit de la même manière aux lois de la réfraction, p. 51. — Position des raies de Wollaston, p. 52. — Effet des tubes, p. 51. — Moyens fournis par l'optique pour distinguer la lumière directe de la lumière réfléchie, et importance de ces moyens pour l'astronomie physique, p. 54. Limites de la force visuelle ordinaire, p. 54. Imperfection de l'organe de la vue; diamètre factice des étoiles, p. 57. — Influence de la forme des objets sur le plus petit angle visuel; différence d'éclat de 1/60 nécessaire pour la visibilité; vision négative et vision positive, p. 58-62. — Visibilité des étoiles à l'œil nu et en plein jour, du fond des puits ou sur le sommet des hautes montagnes, p. 62-64. — Queues et rayons divergents, p. 57. — De la visibilité des satellites de Jupiter à l'œil nu, p. 56. — Fluctuation des étoiles, p. 65. — Commencements de la vision télescopique et application des lunettes aux instruments de mesure, p. 66-69 et 76. — Réfracteurs de grande dimension, p. 69. — Réflecteurs, p. 71-73. — Observation en plein jour; comment de forts grossissements peuvent faciliter, durant le jour, la découverte des étoiles, p. 77-78. — De la scintillation des étoiles, p. 79-86. — Vitesse de la lumière, p. 86-90. — Ordre de grandeur des étoiles; rapports photométriques et différentes méthodes de mesure, p. 98-103. — — Série photométrique des étoiles, p. 104-111.

III. NOMBRE, DISTRIBUTION ET COULEUR DES ÉTOILES. — AMAS STELLAIRES.

— Voie lactée parsemée de rares nébuleuses, p. 112-165. — Différents états du ciel qui favorisent ou rendent impossible les observations astronomiques, p. 112-114. — Nombre des étoiles; combien l'on en peut voir à l'œil nu, p. 111-116. — Nombre des étoiles dont la position a été déterminée, et qui figurent sur les cartes célestes, p. 116-127. — Tentatives pour évaluer le nombre des étoiles rendues visibles dans toute la voûte du ciel par les télescopes dont on dispose aujourd'hui, p. 127 et 128. — Astronomie contemplative chez les races les moins civilisées, p. 129-131. — Sphère céleste des Grecs, p. 131-137. — Ciel de cristal, p. 136-138. — Diamètres factices des étoiles vues à travers les télescopes, p. 138-140. — Objets célestes propres par leurs dimensions à éprouver la puissance des lunettes, p. 141. — Différences et variations dans la coloration des étoiles, p. 141-145. — Sirius (Sothis), p. 143-145. — Les quatre étoiles royales, p. 147. — Progrès accomplis successivement dans la connaissance du ciel austral, p. 148, 149. — Lois qui règlent la distribution des étoiles et les divers degrés de leur condensation; jaugeage du ciel, p. 149-152. — Amas stellaires, p. 152-156. — Voie lactée, p. 156-165.

IV. Etoiles nouvelles. — Etoiles changeantes a périodes constatées. — Astres dont l'éclat subit des variations, mais dont la périodicité n'a point encore été reconnue, p. 166-213. — Apparition d'étoiles nouvelles dans l'intervalle de 2,000 ans, p. 166-186. — Etoiles périodiquement variables, p. 186-190, lois des irrégularités apparentes; différences considérables d'éclat; périodes de périodes, p. 190-196. — Table des étoiles variables, dressée par Argelander, avec un commentaire, p. 197-206. — Etoiles variables à périodes encore inconnues (η d'Argo, la Chèvre, étoiles de la Grande et de la Petite Ourse), p. 206-212. — Liaison entre les variations de la lumière stellaire ou solaire, et l'état météorologique de la Terre, p. 212 et 213.

V. Mouvements propres des étoiles. — Existence problématique d'astres obscurs. — Parallaxes, distances de quelques étoiles. — Doutes sur l'existence d'un corps central dans l'univers stellaire, p. 214-238. — Changements produits dans la physionomie du firmament par le mouvement propre des étoiles, p. 214-219. — Preuves qui rendent vraisemblable l'existence d'astres obscurs, p. 220-223. — Parallaxe et mesure des distances qui séparent quelques étoiles fixes de notre système solaire, p. 223-231. Comment on peut faire servir l'observation de la lumière, dans les étoiles doubles, à la détermination de leurs parallaxes, p. 231. — Mouvement de translation du système solaire dans l'espace, et direction de ce mouvement, p. 218 et 232-235. — Centre de gravité de l'univers sidéral; impossibilité de résoudre ce problème, p. 232, 235-238.

VI. Etoiles doubles et multiples. — Leur nombre et leurs distances mutuelles. Durées de la révolution de deux soleils autour de leur centre de gravité commun, p. 239-260. — Etoiles doubles optiques et physiques, p. 240. Nombre des étoiles doubles connues, p. 240-249. — Contraste de couleur dans les étoiles accouplées, p. 249-252. — Variabilité d'éclat, p. 253. — Etoiles triples, quadruples, quintuples et sextuples,

p. 253 et 254. — Étoiles doubles dont les orbites ont été calculées, p. 254-256. — Éléments des orbites des étoiles doubles, p. 257. — Remarques de M. Faye sur ce sujet, p. 248-560.

VII. Nébuleuses. — Nébuleuses réductibles et nébuleuses irréductibles. — Nuées de Magellan. — Taches noires ou sacs a charbon, p. 261-312. — Résolution des nébuleuses. Toutes les nébuleuses sont-elles des amas d'étoiles pressées? p. 261-293. — Détails historiques sur l'observation des nébuleuses, p. 263-283. — Nombre des nébuleuses dont la position est déterminée, p. 277-281. — Distribution des nébuleuses et des amas satellaires dans l'hémisphère boréal et dans l'hémisphère austral, p. 282. — Rareté et accumulation des nébuleuses dans certaines régions du ciel, p. 281-283. — Formes diverses des nébuleuses; nébuleuses sphéroïdales, nébuleuses perforées, nébuleuses planétaires, étoiles nébuleuses, nébuleuses irrégulières, p. 283-289. — Nébuleuse réductible ou amas stellaire d'Andromède, p. 269, 280 et 292. — Nébuleuse de l'Épée d'Orion, p. 266, 267, 290-294. — Grande nébuleuse de η d'Argo, p. 294-295. — Nébuleuse du Sagittaire, p. 295. — Nébuleuses du Cygne et du Renard, p. 295-297. — Nébuleuse en spirale du Chien de chasse septentrional, p. 297. — Les deux Nuées de Magellan, p. 298-307. — Taches noires ou sacs à charbon, 307-312.

DEUXIÈME PARTIE.

SYSTÈME SOLAIRE.

Planètes et satellites. — Comètes. — Lumière zodiacale. — Essaims d'astéroïdes météoriques. — Généralités, p. 315-356.

I. Le Soleil considéré comme corps central, p. 324-356. — Données numériques, p. 326-328. — Constitution physique du Soleil; couches diverses servant d'enveloppe au disque obscur du Soleil; taches du Soleil; facules, p. 330-349. — Affaiblissements de la lumière solaire mentionnés par les annalistes; obscurcissements problématiques, p. 342. — Intensité de la lumière au centre et sur les bords du disque solaire, p. 344-347. — Rapports entre la lumière, la chaleur, l'électricité et le magnétisme : Seebeck, Ampère, Faraday, p. 347-351. — Influence des taches du Soleil sur la température de notre atmosphère, p. 353-356.

II. Les Planètes, p. 357-410. — Considérations générales, p. 357-410 — Planètes principales.— 1° Nombre des planètes principales, et époque de leur découverte, p. 358-365. 2° Division des planètes en deux groupes, séparés par la zone des petites planètes, p. 365-371. 3° Grandeur absolue et grandeur apparente des planètes; leur configuration, p. 371-375. 4° Ordre des planètes d'après leur distance du Soleil; prétendue loi de Titius; croyance répandue dans l'antiquité que tous les corps célestes actuellement visibles ne l'ont pas toujours été. Prosélènes, p. 375-386. 5° Masses des planètes, p. 386 et 387. 6° Densité des planètes, p. 387-389. 7° Durée de la révolution sidérale et de la rotation des planètes, p. 389-391. 8° Inclinaison des orbites planétaires et des axes de rotation; influence de l'obli-

quité de l'écliptique sur les climats, p. 391-399. 9° Excentricité des orbites planétaires, p. 399-403. 10° Intensité de la lumière solaire sur les différentes planètes, p. 403 et 404. Planètes secondaires ou satellites, p. 404-410.

NOTIONS PARTICULIÈRES SUR LES PLANÈTES ET LES SATELLITES. — ÉNUMÉRATION DES DIVERSES PLANÈTES ET LEURS RAPPORTS AVEC LE SOLEIL, CONSIDÉRÉ COMME CORPS CENTRAL, p. 411-462. 1° Le Soleil, p. 411-413. 2° Mercure, p. 414-416. 3° Vénus; taches de Vénus, p. 416-418. 4° La Terre, simples données numériques, p. 419. La Lune; la Lune source de lumière et de chaleur; lumière cendrée ou lumière terrestre dans la Lune; taches et surface de la Lune; montagnes et plaines; altitudes mesurées; la forme circulaire, type dominant à la surface de la Lune; cratères de soulèvement à éruptions intermittentes; anciennes traces de la réaction de l'intérieur contre l'extérieur; absence d'élément liquide, et par suite absence de marées et des effets dus aux courants. Conséquences géologiques à tirer de cet état de choses, p. 419-438. — Mars; aplatissement; aspect de la surface variant avec les saisons, p. 438-441. — Groupes des petites planètes : Flora, Victoria, Vesta, Iris, Métis, Hébé, Parthénope, Astrée, Égérie, Irène, Junon, Cérès, Pallas et Hygie, p. 441-446 — Jupiter : rotation, taches et bandes, p. 447-450. — Satellites de Jupiter, p. 450-453. — Saturne : bandes, anneau, position excentrique, p. 453-457. — Satellites de Saturne, p. 458-460. — Uranus, p. 460 et 461. — Satellites d'Uranus, p. 461-463. — Neptune : découverte et éléments de cette planète, p. 463-466. — Satellites de Neptune, p. 456 et 467.

LES COMÈTES, p. 468-489. — Conjectures sur l'origine des comètes, p. 468-471. — Les comètes sont les corps célestes qui, avec la plus faible masse, remplissent le plus d'espace dans le système solaire, p. 471. — Nombre des comètes dont les éléments sont déterminés; nombre des comètes visibles à l'œil nu en Europe, dans les derniers siècles; nombre des comètes observées en Chine, depuis l'an 613 avant Jésus-Christ jusqu'en 1644, p. 471-475. — Formes des comètes, variations d'éclat, de couleur et de figure; direction des parties qui les composent; durée de leurs révolutions, p. 475-479. — Difficulté de constater l'état moléculaire des différentes parties des comètes, p. 479. — Séparation en deux parties de la comète de Biela, p. 481-484. — Comètes intérieures ou à courtes excursion, p. 484 et 485. — Éléments des six comètes intérieures exactement calculés, p. 486.

DE LA LUMIÈRE ZODIACALE, p. 490-496. — Détails historiques, p. 490-493. — Double intermittence annuelle et horaire, p. 494. — Nécessité de distinguer ce qui, dans la lumière zodiacale, appartient au phénomène lui-même, et ce qui dépend de la transparence variable de l'atmosphère, p. 494. — Séries d'observations correspondantes établies à des hauteurs diverses, sous les tropiques, seul moyen de bien connaître la configuration et l'intensité de la lumière zodiacale, p. 491-493. — Reflet de la lumière zodiacale semblable à celui que produit le coucher du Soleil, p. 493. — Comparaison de la lumière zodiacale avec les plus brillantes parties de

la Voie lactée, p. 493. — Question de savoir si le grand axe de la lumière zodiacale coïncide avec le plan de l'équateur solaire, p. 493-495.

Étoiles filantes, bolides et pierres météoriques, p. 497-528. — Considérations générales : les aérolithes sont pour nous les seules occasions d'un contact immédiat avec des corps étrangers à notre planète, p. 497 et 498. — Premières chutes d'aérolithes dont la date ait été déterminée ; aérolithe d'Ægos-Potamos ; influence qu'il exerça sur l'explication cosmique de ce genre de phénomènes, et sur les théories d'Anaxagore et de Diogène d'Apollonie, p. 499 et suiv. — Force centrifuge opposée à la pesanteur, p. 502-504. Météores isolés et météores périodiques; relations numériques et physiques de ces phénomènes; rayonnement des étoiles filantes; nombre moyen des étoiles filantes sporadiques et périodiques dans un temps donné, suivant la différence des mois, p. 503-509. — Pluies périodiques d'étoiles filantes, autres que la pluie de Saint-Laurent et celle du mois de novembre, qui semble actuellement s'affaiblir, p. 509-513. — Hauteur et vitesse des météores, p. 513-516. — Couleur, forme et grandeur des étoiles filantes ; combustion ; incendies causés par ces météores, p. 514-518. — Pierres météoriques ; chutes d'aérolithes par un ciel serein, ou après la formation d'un nuage noir météorique, p. 519-521. — Variation lunaire des étoiles filantes dans les pluies périodiques, p. 520. — Composition chimique des aérolithes ; analogies de ces pierres avec les rochers telluriques, p. 521-522.

Conclusion, p. 529-535

TOME IV.

INTRODUCTION.

Dans les deux premiers volumes du *Cosmos*, l'auteur a esquissé à grands traits les vues générales sur l'ensemble de la nature, sur le Ciel et sur la Terre ; dans le troisième volume, consacré à l'Uranologie, il a donné des développements sur les espaces célestes et il est entré dans les détails astronomiques ; le quatrième volume sera réservé à la Terre ; on y trouvera les résultats particuliers de l'observation dans le domaine des phénomènes terrestres, p. 1-14.

PREMIÈRE PARTIE.

Grandeur, forme et densité de la terre. Chaleur interne de la terre ; distribution de cette chaleur. Activité magnétique, manifestée par les changements qui se produisent dans l'inclinaison, la déclinaison et l'intensité magnétique, sous l'influence du rayonnement solaire qui échauffe et qui raréfie l'atmosphère. Orages magnétiques. Lumière polaire.

Parmi les premiers objets qui captivent la curiosité de l'homme, il faut compter les dimensions, la forme et la composition de la planète qu'il

habite, p. 15-17. — Le corps de la Terre a été mesuré et pesé, au moyen de sa figure, de sa densité et de sa masse. Diverses méthodes qui ont été employées pour résoudre le problème de la figure de la Terre, p. 18-37. — Chaleur interne de la Terre et distribution de cette chaleur, p. 38-55. — Activité magnétique du corps terrestre considérée dans son triple mode d'action : l'intensité, l'inclinaison, la déclinaison. Considérations générales; exposé historique dans lequel l'auteur donne un tableau chronologique des travaux et des découvertes dont le magnétisme terrestre a été l'objet. On ne peut se représenter ce qui se passe dans notre planète sans le rattacher à l'ensemble du monde; le nom même de planète éveille en nous l'idée de dépendance par rapport à un corps central, de liaison avec un groupe de corps célestes qui ont vraisemblablement une même origine. De très-bonne heure on a reconnu l'influence de la position du Soleil sur la manifestation du magnétisme terrestre. Douze objets différents se recommandent surtout à l'attention : deux pôles magnétiques, situés l'un dans l'hémisphère austral, l'autre dans l'hémisphère boréal; l'équateur magnétique; les lignes d'égale déclinaison (lignes isogoniques) et les lignes sans déclinaison; les quatre points de la plus grande intensité magnétique; les lignes d'égale intensité (isodynamiques); la ligne des ondulations magnétiques qui lie, sur chaque méridien, les points de la plus faible intensité (équateur dynamique); la limite de la zone, en général d'une très-faible intensité magnétique, qui joue, pour ainsi dire, le rôle d'intermédiaire, et dans laquelle les variations horaires participent alternativement, suivant les saisons, aux propriétés des deux hémisphères, p. 56-101. — Intensité : Tentative de Mallet, en 1769, pour évaluer l'intensité du magnétisme terrestre; observations de Borda, en 1776, de Lamanon, de 1785 à 1787; les premières observations d'intensité qui aient été rendues *publiques* sont celles que Humboldt recueillit durant son voyage aux régions équinoxiales de l'Amérique, de 1798 à 1804, les expériences de Rossel faites, de 1791 à 1794, dans la mer des Indes, n'ayant été imprimées que plus tard, p. 102-103; situation des quatre maxima d'intensité, 104-106; manières de déterminer les rapports de leurs forces, observations de divers auteurs à ce sujet, p. 107 et *suiv.*; l'intensité de la force terrestre, mesurée sur des points déterminés du globe, a, comme tous les phénomènes du magnétisme, des variations horaires et des variations séculaires, p. 115-118. — Inclinaison : C'est à sir James Ross que l'on doit des notions précises sur la situation des deux pôles magnétiques, p. 118; situation de l'équateur magnétique, p. 119 et *suiv.*; tableau des changements périodiques horaires de l'inclinaison magnétique, p. 125-126; pour déterminer la variation séculaire de l'inclinaison, il est nécessaire de disposer d'une longue suite d'observations, toutes également précises; l'auteur fait un exposé de ces observations, p. 128-137. — Déclinaison : Ce troisième élément du magnétisme terrestre est celui dont la connaissance remonte le plus haut, p. 137-138; phénomènes de la déclinaison, variations qu'y apportent les différentes heures du jour et de la nuit, ainsi que les saisons de l'année ; série d'observations à ce sujet, p. 138 et

suiv.; perturbations dans la direction de l'aiguille aimantée, p. 149 et *suiv.;* observations que l'auteur a faites à Rome, sur le mont Pincio, avec Gay-Lussac, au sujet de ces perturbations, p. 150-153; observations de Sabine et d'autres auteurs, p. 154-158; simultanéité des orages magnétiques à des distances de plusieurs milliers de lieues, p. 158; *courbes isogoniques* ou *lignes d'égale déclinaison*, p. 160 et *suiv.:* une ligne sans déclinaison découverte, en 1492, par Christophe Colomb, dans l'Océan atlantique, avait donné une impulsion puissante à l'étude du magnétisme terrestre, p. 161; le hasard a, depuis, fait obtenir beaucoup d'observations, par des navires traversant les lignes sans déclinaison; mais ces matériaux ne pourront réellement acquérir d'importance capitale pour la connaissance même de ces lignes, et pour déterminer la situation actuelle de l'équateur magnétique, que quand on enverra dans les différentes mers des vaisseaux ayant pour unique mission de suivre ces lignes sans interruption, p. 161; partie atlantique de la courbe américaine déterminée par Sabine, p. 163; courbe sans déclinaison australo-caspienne, p. 164 et *suiv.;* les courbes sans déclinaison ont une histoire qui ne remonte pas au delà de deux cents ans, p. 169-170. — Lumière polaire : Les perturbations extraordinaires, dont les effets se révélèrent pour la première fois dans les changements de la déclinaison, annoncent en partie, en partie accompagnent la lumière polaire magnétique; l'aurore boréale ne doit pas être considérée comme la cause de la perturbation qui trouble l'équilibre du magnétisme terrestre, mais comme le résultat de l'activité du globe, exaltée jusqu'à la production des phénomènes lumineux, et qui se manifeste, d'un côté, par cette illumination polaire de la voûte céleste, de l'autre, par les oscillations désordonnées de l'aiguille aimantée; la lumière polaire est ainsi une sorte de décharge sans détonation, l'acte qui met fin à l'orage magnétique, p. 171; description de ces phénomènes, p. 171-178; phénomènes géognostiques, que l'on peut désigner sous le nom de magnétisme des montagnes, p. 179-180.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉACTION DE L'INTÉRIEUR DE LA TERRE CONTRE SA SURFACE, MANIFESTÉE : 1° DYNAMIQUEMENT PAR LES ONDES D'ÉBRANLEMENT (TREMBLEMENTS DE TERRE); 2° PAR UN ACCROISSEMENT DE TEMPÉRATURE QUI SE COMMUNIQUE AUX SOURCES ET PAR LA DIVERSITÉ DES SELS ET DES GAZ MÊLÉS A CES SOURCES (EAUX THERMALES); 3° PAR L'ÉRUPTION DES FLUIDES ÉLASTIQUES ACCOMPAGNÉS PARFOIS DE PHÉNOMÈNES D'INFLAMMATION SPONTANÉE (VOLCANS DE GAZ ET DE BOUE, FEUX DE NAPHTE, SALSES); 4° PAR LES EFFETS DES VOLCANS PROPREMENT DITS, QUI, EN COMMUNICATION PERMANENTE AVEC L'ATMOSPHÈRE A TRAVERS LES CRATÈRES ET LES FAILLES, VOMISSENT DES ENTRAILLES DU GLOBE, EN LONGUES COULÉES DE LAVES, DES TERRES EN FUSION, QUI TANTOT SE PRESENTENT SOUS LA FORME DE SCORIES INCANDESCENTES, TANTOT SOUS CELLE DE ROCHES CRISTALLINES.

Exposé général. La seconde partie du tome quatrième du *Cosmos* traitera des phénomènes complexes qui doivent être attribués à la réac-

tion permanente de l'intérieur de la Terre contre sa surface, ensemble de phénomènes que l'auteur désigne sous le nom général de Vulcanisme, p. 181-185.

Tremblements de terre, p. 186. — Différents systèmes sur les causes qui produisent les tremblements de terre, p. 189-190. — Il est plus facile de ramener à des théories mécaniques simples et claires les ondes d'ébranlement produites par la première impulsion, que d'expliquer la nature de cette impulsion, p. 191. — Catastrophe arrivée à Riombamba, en 1797, p. 192-194. — Presque toujours les manifestations de l'activité volcanique, dont les tremblements de terre sont un des moindres effets, comprennent simultanément des phénomènes dynamiques et des phénomènes physiques, donnant naissance à des substances nouvelles, p. 196. — La fréquence des tremblements de terre dans certains pays, en détruisant des monuments de l'art humain, a souvent eu de funestes conséquences pour l'étude, p. 198. — La vitesse avec laquelle se propage un tremblement de terre varie suivant les densités des couches solides qu'il traverse, p. 199-200. — Quelquefois l'activité volcanique embrasse une partie si considérable du corps terrestre que les ébranlements qu'elle produit peuvent être attribués à plusieurs causes, p. 206.

Sources thermales, p. 207. — La division des sources en sources chaudes et sources froides, n'a, quand on veut la ramener à des évaluations thermométriques, qu'un fondement incertain, p. 208. — Sources dont la température est invariable, et sources dont la température change avec les saisons, p. 210 et *suiv.* — Lignes isogéothermes, p. 214. — Sources de la Ladera de Cadlud, dans les Andes, à une hauteur de quatorze mille cinq cent soixante-huit pieds, p. 214. — Sources thermales des environs de l'ancienne Carthage, qui amenèrent Saint-Patrice à discerner les vraies causes des différences de température dans les eaux jaillissantes, p. 222-223. — Les *aguas de comangillas*, près de Chichimequillo, au Mexique; les *aguas calientes de las Trincheras* et les *baños de Mariara,* dans les *valles de Aragua,* sur le chemin de la Nouvelle-Valence, p. 223-225. — Sources chaudes intermittentes de l'Islande, p. 225-227. — Sources médicinales de Luxeuil, de Pfeffers, de Gastein, p. 227. — Sources de Nocera, dans les Apennins, p. 228. — Les sources acidules et les émissions de gaz carbonique, que l'on a longtemps attribuées à des dépôts de houille et de lignite, paraissent être bien plutôt le produit de l'activité volcanique, p. 228-229. — Sources d'Aix-la-Chapelle, p. 229-230. — Source thermale donnant naissance à toute une rivière chargée d'acide sulfurique, p. 230. — Relations thermométriques des sources, p. 233.

Salses, volcans de boue, sources et feux de naphte, éruptions de vapeur et de gaz, p. 234. — Dans le premier volume du *Cosmos,* l'auteur montre que les salses sont une sorte d'intermédiaire des sources chaudes et des volcans proprement dits, qui rejettent des terres en fusion sous la forme

de scories désagrégées ou de roches nouvelles souvent superposées; il appelle de nouveau une attention d'autant plus sérieuse sur les salses et les volcans de boue, que les anciens géognostes, faute de connaissances suffisantes, s'en sont moins occupés, de même que de tout ce qui sert de transition entre la nature organique et la nature inorganique, p. 234. — Salses et sources de naphte de Malacubi, en Sicile; de Pietra-Mala, de Monte-Zibio, dans le nord de l'Italie, p. 235 et *suiv.*; volcans de boue, sources et feux de naphte de la chaîne du Caucase, *id.*; éruptions de vapeurs des moraines de la Toscane, p. 237-238. — Les *soffioni* de l'Islande, p. 239. — Sources de gaz inflammable de l'Amérique, p. 239 et *suiv.* — *Volcancitos* de Turbaco, 237-245. — Éruption de flammes qui, en 1839, changea en île la presqu'île de Galera-Zamba, p. 244-245. — Volcans de boue, salses, sources de gaz de la Chine, qui ont donné l'idée aux Chinois des procédés de forage empruntés d'eux par les Européens, puits artésiens, pour obtenir du gaz à brûler, aussi bien que de l'eau pure et de l'eau saline, p. 245-246. — Montagnes ardentes de la Chine, p. 246-247. — Feux éternels du mont Schagdagh, dans le Caucase, *id.* — Salses de l'île Java, grottes à sources d'acide carbonique de Java, 247-248. — L'*azufral de Quindiu*, en Amérique, 248-250. — Source de naphte du golfe de Cariaco, près de Cumana, jaillissant du sein de la mer, p. 250. — Comme les volcans proprement dits, les salses manifestent, de temps à autre, leur réveil subit en lançant des colonnes de feu, qui jettent au loin l'épouvante, p. 251.

Volcans considérés d'après leur forme et les divers degrés de leur activité. Effets des volcans a travers les crevasses et les cratères d'explosion. Enceintes des cratères de soulèvement. Volcans en forme de cônes et de cloches, avec ou sans ouverture au sommet. Différentes espèces de roches a travers lesquelles agissent les volcans, p. 253. — La confusion, consacrée jadis par l'usage, des noms de volcan et de montagne ignivome, est cause que, d'après un préjugé très-répandu, on se représente toujours les volcans sous l'image de montagnes coniques isolées, avec une ouverture circulaire au sommet; mais ces vues ne sauraient être généralisées, p. 253 et *suiv.* — Le caractère essentiel des volcans consiste dans une communication permanente entre l'atmosphère et le foyer intérieur du globe, p. 256 et *suiv.* — L'auteur, pour aller des phénomènes simples aux phénomènes composés, placera en première ligne les éruptions qui se produisent à travers les failles de la terre et ne forment pas des rangées de cônes détachés, mais rejettent des masses volcaniques liquides ou simplement ramollies, qui se superposent par couches; en second lieu, il étudiera les éruptions à travers des cônes de conglomérats qui, sans être entourés d'enceinte, vomissent cependant des laves; en troisième lieu, il examinera les cratères de soulèvement formés de couches relevées, sans cône central, qui ne livrent passage aux courants de laves qu'à travers les parois des remparts qui les entourent, et non à travers le conduit intérieur, obstrué par quelque éboulement; enfin, il arrivera aux montagnes en forme de cloche sans ouverture, ou aux cônes de soulève-

ment ouverts au sommet, p. 258 et *suiv.* — Hypsométrie des volcans, p. 281 et *suiv.* — La gradation que l'auteur a établie entre les volcans, à partir des petits cratères d'explosion, sortes d'entonnoirs sans échafaudage, jusqu'au volcan actif de Sahama, haut de 21,000 pieds, fait voir qu'il n'y a aucun lien nécessaire entre le maximum d'élévation, l'affaiblissement de l'activité volcanique et la nature des roches visibles, p. 284. — La fréquence des éruptions d'un volcan paraît dépendre de causes multiples et très-compliquées, p. 286 et *suiv.* — Le Stromboli, p. 287-289. — La Chimere de Lycie, p. 289-290. — Le volcan de Masaya, dans l'État de Nicaragua, en Amérique, p. 290-292. — Le volcan d'Izalco, sur la côte occidentale de l'Amérique centrale, p. 292-294. — Le volcan de Fogo, dans les îles du Cap-Vert, p. 294. — Le Sangay, dans l'Amérique du Sud, p. 294-299. — Le groupement des volcans importe plus encore peut-être que leur configuration et leur altitude, parce qu'il conduit au grand phénomène géologique du soulèvement du sol sur les failles dont l'écorce terrestre est sillonnée; aperçu général des groupes volcaniques, p. 297 et *suiv.* — Tableau déterminant le lieu et les hauteurs des volcans qui forment la chaîne d'Anahuac, au Mexique, p. 309. — Tableau indiquant le nombre des volcans contenus dans chacun des cinq groupes américains compris entre 19° 25' de latitude nord et 46° 8' de latitude sud, p. 314. — En Asie, les volcans les plus puissants sont répartis dans les îles de la Sonde, les Moluques, les Philippines, les archipels du Japon, les Kouriles et les îles Aléoutiennes, au sud et à l'est du continent, p. 231 et *suiv.* — Soulèvement des volcans de Jorullo, en Amérique, dans l'année 1759, p. 335. — Topographie et description de ce volcan et des Hornitos qui l'entourent, donnée par l'auteur, p. 335 et *suiv.* — Volcans des parties orientales du Mexique central, anciennement appelé Anahuac; le pic d'Orizaba, le Toluca, le Popocatepetl, l'Yztaccihuatl, le champ de laves appelé le Malpais de l'Atlachayacalt, p. 352 et *suiv.* — Le *Cofre de Pérote*, p. 355-356. — Groupe volcanique de l'Amérique centrale, qui suit immédiatement, vers le sud, le groupe mexicain, et qui contient dix-huit cônes ou cloches, dont quatre vomissent des laves, p. 358. — Groupe volcanique de Papayan et de Quito qui a la réputation de ne point fournir de coulées de laves, mais seulement des masses de scories ardentes et désagrégées, p. 358. — L'Antisana, p. 360 et *suiv.* — Le mot *lave* ne signifie point une combinaison minérale particulière; tout ce qui coule dans un volcan et prend une nouvelle assiette, en raison de sa fluidité, est de la lave, p. 366. — Le Cotopaxi, le plus puissant des volcans de Quito, p. 370 et *suiv.* — Il est naturel de prendre comme mesure et comme témoignage de l'activité des volcans, dans les différentes contrées, le nombre des échafaudages volcaniques, c'est-à-dire des cônes et des dômes ouverts au sommet et soulevés au-dessus des crevasses, qui sont restés reconnaissables jusqu'à nos jours, p. 376.

Théorie géographique des volcans : 1° Volcans d'Europe, p. 380-382; 2° volcans des îles de l'Océan Atlantique, p. 383-387; 3° volcans d'Afrique, p. 387-390; 4° volcans du continent asiatique, p. 390-405; 5° volcans

des îles de l'Asie orientale, p. 406-421; 6° volcans des îles de l'Asie méridionale, p. 421-428; 7° volcans des îles de l'Océan indien, p. 428-434; 8° volcans de la mer du Sud, p. 434-451; 9° volcans d'Amérique, p. 452-473. — Tableau donnant le nombre des volcans répartis sur la surface du globe, p. 474. — Éruptions du Vésuve, p. 475 et *suiv.* — Les volcans suivent la direction des rivages, tantôt sur une seule ligne, tantôt sur deux et même trois lignes parallèles, p. 481. — Distance entre les bords de la mer et les points où se manifeste l'activité volcanique, p. 482. — L'auteur incline à croire que les îles et les côtes sont plus riches en volcans, parce qu'aux soulèvements causés par les forces élastiques intérieures répond un affaissement dans le lit des mers, p. 484. — Témoignage d'un vaste et antique système de communication entre les eaux, p. 485-486. — Épaisseur de la croûte terrestre, p. 487-488. — De quelle manière et dans quelle mesure les exhalaisons gazeuses agissent sur la composition chimique de l'air, et, par suite, sur la vie organique qui se développe à la surface du sol; analyse des gaz volcaniques, p. 488 et *suiv.*

Source des éruptions volcaniques et des émanations gazeuzes; p. 491-496.

Composition minéralogique de la roche volcanique, p. 496 et *suiv.* — Généralisation du nom de trachyte, p. 499. — Classification des trachytes, d'après l'association de leurs éléments essentiels, en six groupes déterminés par Gustave Rose, p. 501-507. — A côté des éléments essentiels et caractéristiques de la formation trachytique, il y en a d'autres qui ne sont pas essentiels, mais dont la fréquence ou l'absence constante dans des volcans souvent très rapprochés, mérite une grande attention, p. 510. — Mica, p. 511-512. — Feldspath vitreux, p. 512. — Hornblende et Augite, p. 513. — Leucite, p. 514. — Olivine, p. 515-516. — Obsidienne, p. 517-523. — Conditions diverses sous lesquelles les phénomènes chimiques de l'activité volcanique précèdent la formation des minéraux simples et leur association aux trachytes, p. 510-523.

FIN DE L'APERÇU ANALYTIQUE DU COSMOS.

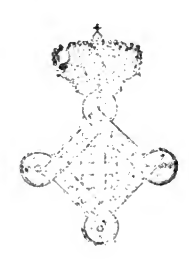


TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE TOME QUATRIÈME ET DERNIER

	Pages.
Avertissement de M. Galuski pour le tome IV	I
Introduction de l'auteur pour ce tome	1 à 11
Resultats particuliers de l'observation dans le domaine des phénomènes terrestres	12 à 14

PREMIÈRE PARTIE.

Grandeur et forme de la terre. Aperçu général	15 à 17
Grandeur, forme et densité de la terre	18 à 37
Chaleur interne de la terre et distribution de cette chaleur	38 à 55
Activité magnétique du corps terrestre	56 à 180
Intensité	101
Inclinaison	118
Déclinaison	137
Lumière polaire	170

DEUXIÈME PARTIE.

Réaction de l'intérieur de la terre contre sa surface. Exposé général	181 à 185
Tremblements de terre	186 à 206

Pages.

Sources thermales.. 207 à 233
Sources de vapeur et de gaz. — Salses. — Volcans de boue.— Feux de naphte.. 234 à 252
Volcans considérés d'après leur forme et les divers degrés de leur activité, etc.. 253 à 523
Volcans d'Europe.. 380 à 382
Volcans des îles de l'Océan atlantique.. 383 à 387
Volcans d'Afrique.. 387 à 390
Volcans d'Asie.. 390 à 405
Volcans des îles de l'Asie orientale.. 406 à 421
Volcans des îles de l'Asie méridionale.. 421 à 428
Volcans des îles de l'Océan indien.. 428 à 434
Volcans de la mer du Sud.. 434 à 451
Volcans du continent américain.. 452 à 473
Nombre des volcans répartis à la surface du globe.. 474 à 487
De quelle manière et dans quelle mesure les exhalaisons gazeuses agissent sur la composition chimique de l'air...... 488
Des différentes espèces de roches à travers lesquelles agissent les volcans.. 491 *et suiv.*
Mica.. 511
Feldspath vitreux.. 512
Hornblende et augite.. 513
Leucite.. 514
Olivine.. 515 à 516
Obsidienne.. 517 à 523
Notes.. 527 à 801
Observations complémentaires.. 802 à 804
Aperçu analytique des quatre volumes du Cosmos.. 805 à 832

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DU TOME QUATRIÈME ET DERNIER.

PARIS. — J. CLAYE, IMPRIMEUR, RUE SAINT-BENOIT, 7.

